

**DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS Y ENSAYOS DE VIBRACIÓN PARA
LUMINARIAS DE LA EMPRESA ANDILUM S.A. CON NORMA NTC 2230
NUMERAL 4.20**

REINALDO ANDRÉS NIETO ROMERO

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2012**

**DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS Y ENSAYOS DE VIBRACIÓN PARA
LUMINARIAS DE LA EMPRESA ANDILUM S.A. CON NORMA NTC 2230
NUMERAL 4.20**

REINALDO ANDRES NIETO ROMERO

**Pasantía Institucional para optar al título de
Ingeniero Mecatrónico**

**Director
DIEGO FERNANDO ALMARIO
INGENIERO ELECTRICISTA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2012**

Nota de aceptación:

**Aprobado por el Comité de Grado en
cumplimiento de los requisitos exigidos por la
Universidad Autónoma de Occidente para optar
al título de Ingeniero Mecatrónico.**

BERNARDO SABOGAL

Jurado

CRISTIAN PANTOJA

Jurado

Santiago de Cali 1 de Agosto de 2012

AGRADECIMIENTOS

Llevaba mucho tiempo pensando que escribir en esta hoja de mi trabajo de grado y ahora que se llegó el día no sé qué escribir, pero aunque siempre dije que iba a estudiar veterinaria el futuro me estaba esperando, y ahora, me está ahorcando la ilusión de convertirme en ingeniero.

Agradezco a todas las personas que estuvieron presentes apoyándome durante este recorrido.

A Sandra maya, gerente de la empresa ANDILUM S.A y las demás personas que conforman esta empresa, por brindarme de la oportunidad de realizar mi pasantía en sus instalaciones y hacer de ese espacio el lugar propicio para culminar mis estudios.

Al ingeniero Diego Almario director de trabajo de grado, por sus aportes, críticas, comentarios y sugerencias durante el desarrollo de este trabajo. A Mario pontón debería agradecerle por enseñarme desde primer semestre que esta carrera era dura y que no iban a regalarme nada pero, mejor no le doy las gracias porque lo odio.

A los que no tengo como agradecerles, mis padres y hermana por brindarme el apoyo incondicional para realizar mis estudios, sé que pudo haber sido mejor pero como dice calamaro la historia se escribe en hojas desordenadas.

A todos muchas gracias.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	13
INTRODUCCIÓN	14
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
2. JUSTIFICACIÓN	16
3. ANTECEDENTES	17
3.1 BANCO DE PRUEBA ROTORKIT	18
3.2 MAST(MULTI AXIS SHAKING TABLE) DE INSTRON	18
4. MARCO TEÓRICO	19
4.1. VIBRACIÓN	19
4.2 CONSECUENCIAS DE LAS VIBRACIONES	19
4.3 MECANISMOS DE TRANSFORMACIÓN DE MOVIMIENTO	19
4.3.1 La Leva	20
4.3.2 Biela-Manivela	20
4.4 RESORTES	21
4.4.1 Energía absorbida por los resortes	21
4.4.2 Oscilaciones en los resortes	21
4.5 MOTORES ELÉCTRICOS	21
4.6 VARIADORES DE VELOCIDAD	22

4.7 LUMINARIA	22
4.8 NORMA NTC 2230 NUMERAL 4.20	23
4.9 PRINCIPIO DE ERGONOMÍA	23
4.10 DISEÑO ERGONÓMICO	24
5. OBJETIVOS	25
5.1 OBJETIVO GENERAL	25
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
6. PLANTEAMIENTO DE LA MISIÓN	26
6.1 DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	26
6.2 PRINCIPALES OBJETIVOS DE MARKETING	26
6.3 MERCADO PRIMARIO	26
6.4 MERCADO SECUNDARIO	26
6.5 PREMISAS Y RESTRICCIONES	26
6.6 PARTES IMPLICADAS	26
7. LISTA DE LAS NECESIDADES	27
8. RELACIÓN MÉTRICAS CON NECESIDADES	29
9. EVALUACIÓN DE SATISFACCIÓN DE LAS NECESIDADES DEL CLIENTE EN PRODUCTOS COMPETIDORES	30
10. RELACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS	31
11. QFD	32
12. GENERACIÓN DE CONCEPTOS	34
12.1 DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL	34
12.2 SUB FUNCIONES	35

13. CONCEPTOS GENERADOS	36
13.1 CONVERTIR ENERGÍA ELÉCTRICA EN ENERGÍA MECÁNICA	36
13.2 FRECUENCIA DE MOVIMIENTO	36
13.3 CONVERTIR MOVIMIENTO CIRCULAR EN LINEAL	36
13.4 TRANSMITIR MOVIMIENTO AL BANCO	36
14. ALTERNATIVAS DEL DISEÑO	37
15. TAMIZAJE DEL CONCEPTO	38
16. EVALUACIÓN DEL CONCEPTO	10
17. ARQUITECTURA DEL PRODUCTO	41
18. INTERACCIONES FUNDAMENTALES ENTRE CONJUNTOS	42
19. PROTOTIPADO	43
19.1 CONSIDERACIONES DEL DISEÑO	43
19.2 DISEÑO DE LA MESA	45
19.3 DISEÑO DE LA PLANCHA	47
19.4 DISEÑO DEL EJE DE LA PLANCHA	48
19.5 DISEÑO DE LOS RESORTES	48
19.6 DISEÑO DE LA BIELA	50
19.7 DISEÑO DEL RODAMIENTO	51
19.8 DISEÑO DE LA EXCÉNTRICA	53
19.9 MOTOR ELÉCTRICO	54
19.10 DISEÑO FINAL DE LA MAQUINA	54
19.11 VARIADOR DE VELOCIDAD	56
19.11.1 Sinamics g110	57

19.11.2 Sinamics g120	57
19.11.3 Micro master 420	58
19.11.4 Configuración micro master 420	58
20. DISEÑO PARA MANUFACTURA	60
20.1 SELECCIÓN DE COMPONENTES	60
20.1.1 Motor	60
20.1.2 Variador de velocidad	60
20.1.3 Mesa	60
20.1.4 Plancha	61
20.1.5 Eje de la plancha	61
20.1.6 Resortes	61
20.1.7 Biela	61
20.1.8 Rodamiento	61
20.1.9 Excéntrica	61
20.2 COMPONENTES DEL BANCO DE PRUEBAS Y SUS PRECIOS	61
21. ANÁLISIS ECONÓMICO-FINANCIERO	63
22. RESULTADOS OBTENIDOS	65
23. CONCLUSIONES	70
BIBLIOGRAFÍA	72
ANEXOS	74

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Lista de las necesidades del cliente con su importancia, métrica y unidad.	27
Cuadro 2. Necesidades VS. Requerimientos	29
Cuadro 3. Evaluación de las necesidades con los productos Competidores	30
Cuadro 4. Alternativas para el diseño	37
Cuadro 5. Matriz de tamizaje	38
Cuadro 6. Matriz de evaluación del concepto	39
Cuadro 7. Especificaciones del diseño	44
Cuadro 8. Parámetros del resorte	50
Cuadro 9. Concepto seleccionado	66
Cuadro 10. Componentes del banco de pruebas	66
Cuadro 11. Especificaciones del diseño	67
Cuadro 12. Dimensiones del banco de pruebas	67

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mesa de vibración	15
Figura 2. Relación de los requerimientos	31
Figura 3. QFD	32
Figura 4. Descomposición funcional	34
Figura 5. Descomposición funcional del sistema	35
Figura 6. Arquitectura del producto	41
Figura 7. Interacciones entre conjuntos	42
Figura 8. Prototipo a desarrollar	43
Figura 9. Altura del puesto según tipo de trabajo realizado	45
Figura 10. Prototipo 3D de la mesa	46
Figura 11. Prototipo 3D de la plancha	47
Figura 12. Prototipo 3D del eje	48
Figura 13. Prototipo 3D resorte	50
Figura 14. Prototipo 3D Biela	51
Figura 15. Prototipo 3D Rodamiento	52

Figura 16. Prototipo 3D Excéntrica	53
Figura 17. Prototipo 3D Motor	54
Figura 18. Prototipo 3D máquina de vibración-Vista general	55
Figura 19. Prototipo 3D máquina de vibración-Vista frontal	55
Figura 20. Prototipo 3D máquina de vibración-Despiece	56
Figura 21. Variador de velocidad sinamics g110	56
Figura 22. Variador de velocidad sinamics g120	56
Figura 23. Variador de velocidad micro master 420	58
Figura 24. Generador de rampas para el micro master 420	59
Figura 25. Análisis económico	63
Figura 26. Grafico análisis económico	67
Figura 27. Banco de pruebas y ensayos de vibración, escala real	68
Figura 28. Banco de pruebas y ensayos de vibración, vista frontal	68
Figura 29. Banco de pruebas y ensayos de vibración, sistema mecánico	69

LISTA DE ANEXOS

	Pág
ANEXO A. MANUAL DEL USUARIO	74
ANEXO B. PLANOS DE LA MESA	81
ANEXO C. PLANOS DE LA PLANCHA	82
ANEXO D. PLANOS EJE DE LA PLANCHA	83
ANEXO E. PLANOS RESORTES	84
ANEXO F. PLANOS BIELA	85
ANEXO G. PLANOS EXCÉNTRICA	86
ANEXO H. TABLA DE PRECIOS	87
ANEXO I. INFORME ICONTEC EVALUACION DEL	
LABORATORIO ANDILUM S.A-RESISTENCIA A LAS VIBRACIONES	88

RESUMEN

El presente proyecto ilustra el proceso de diseño realizado en la empresa ANDILUM S.A., con el objetivo de implementar la prueba de resistencia a vibraciones severas para realizársela a las luminarias fabricadas por esta empresa, ayudando al mejoramiento continuo de los productos y garantizar así su excelente calidad.

En primer lugar, se definen las necesidades y requerimientos del cliente para obtener el punto de partida del diseño definiendo parámetros a cumplir y comenzar con el desarrollo del análisis necesario para cumplir con éxito el objetivo planteado; seguido del diseño conceptual y diseño a nivel del sistema.

Se definen los materiales, tolerancias permitidas y se realiza el diseño detallado del banco de pruebas con el fin de tener todos los elementos necesarios para realizar el prototipado.

Una vez terminado el proceso, se presentan los resultados a las áreas afectadas para definir los procesos de funcionamiento y verificar cumplimiento de la normatividad.

Palabras Claves: luminarias, parámetros, necesidades, métricas, unidades

INTRODUCCIÓN

Actualmente en el país para garantizar una buena calidad y óptimo funcionamiento de los productos adquiridos en el mercado, se realiza un proceso de certificación, mediante el cual por medio de una serie de pruebas o ensayos se verifica que dichos productos cumplan con un estándar de calidad mínimo.

Una empresa que no cuente con la acreditación de sus productos, no posee un nivel adecuado para competir en licitaciones de gran nivel, generando con esto una baja participación en el mercado y menos ingresos.

Para lograr la certificación de luminarias, como en este caso, las empresas deben realizar diferentes tipos de ensayos a sus luminarias entre las cuales se encuentran la prueba de rigidez dieléctrica, corriente de fuga, hermeticidad al agua y el polvo, corriente de fuga, entre otras, dichas pruebas se pueden realizar en laboratorios propios de cada empresa, si se encuentran certificados o acudir a entidades externas que presten este servicio.

Este proyecto, toma como ejemplo una empresa de luminarias “ANDILUM S.A., Andina de iluminaciones”, que cuenta con un laboratorio para la realización de pruebas y ensayos, pero no posee un banco para realizar la prueba de exposición a vibraciones severas especificada en la norma NTC 2230 numeral 4.20, y por ende debe recurrir a empresas externas para realizar esta prueba, generando costos y pérdida de tiempo, debido a transporte y disposición de las empresas para realizar la prueba.

Con base en la anterior problemática, se realizará el diseño de un banco de pruebas de vibraciones severas, por medio de la unión de diferentes elementos mecánicos y electrónicos, con el propósito de crear un sistema que genere vibraciones a diferentes frecuencias requeridas por la norma.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para que las empresas encargadas de fabricar luminarias puedan ingresar a licitaciones de gran nivel, les exigen poseer la certificación de cada uno de los productos que van presentar en los diseños de iluminación, ya sea de alumbrado público, grandes áreas, iluminación de zonas verdes o lugares que requiriera luminarias decorativas. Por lo tanto obtener la certificación para todos los productos fabricados es de gran importancia, y para ello es necesario realizarle todas las pruebas requeridas por CIDET (centro de investigación y desarrollo tecnológico del sector eléctrico) y por el RETILAP (Reglamento Técnico para alumbrado público)

Por esta razón, la empresa se ha visto en la necesidad de crear un laboratorio en el cual se realizan los diferentes tipos de ensayos, para poderlo certificar y lograr reducir los gastos generados al realizar las pruebas en empresas externas y el tiempo de obtención de los resultados. En la actualidad no se puede realizar el ensayo de resistencias a vibraciones severas.

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Frente a esta problemática, se llega a siguiente pregunta:

¿Cómo realizar los ensayos de resistencia a vibración según la norma NTC 2230 numeral 4.20 a las luminarias en la empresa ANDILUM S.A.?

- ¿Cómo identificar y definir las necesidades del cliente?
- *¿Qué metodología se debe emplear para realizar el diseño?*
- *¿Cómo definir y establecer las métricas y unidades para evaluar las necesidades?*

2. JUSTIFICACIÓN

Uno de los componentes importantes al momento de diseñar es la etapa de verificación del diseño en la cual se realizan pruebas bajo ambientes controlados, este mismo proceso se debe realizar a los productos terminados para garantizar el nivel de calidad necesario para el cumplimiento de la normatividad vigente.

Bajo este contexto, la finalidad del proyecto es diseñar un banco de pruebas para ensayos de vibración basado en los requerimientos exigidos de la norma NTC 2230 numeral 4.20, y lograr por medio de un sistema de vibración exponer cada tipo de luminaria a dicha prueba y analizar si se presenta pérdida de algún componente o desajuste en algunas de sus piezas.

Es necesario incursionar en las principales necesidades existentes en el laboratorio de pruebas y ensayos de ANDILUM S.A. para lograr implementar un sistema que se acople a las instalaciones presentes.

Es importante aclarar, que existen en el mercado maquinas que sirven para realizar este tipo de pruebas pero tienen un alto costo, por lo cual se propone desarrollar un sistema ergonómico, rentable y competitivo con los actuales bancos de pruebas.

3. ANTECEDENTES

La prueba de vibración es actualmente desarrollada por medio de una máquina de vibración donde se simulan los efectos de la fatiga causados por la vibración, el cual es el problema más importante de las fallas estructurales en los equipos de iluminación de exteriores que son instalados en postes. Esto asegura la confiabilidad del producto cuando las luminarias están sujetas a las vibraciones causadas por el viento y el tráfico pesado de vehículos. Debido a la poca información disponible sobre este tipo de maquinaria se toma como base algunos sistemas que generan vibración para otros tipos de análisis.¹

Para realizar el ensayo de vibraciones se utiliza una mesa de vibraciones con desplazamiento vertical sinusoidal que permite variar la frecuencia dentro del rango de 0 a 60 hz y la amplitud puede ser fijada desde 0 a 3.2 mm. El mecanismo utilizado es del tipo yugo escocés. La mesa vibratoria es ajustada a una amplitud de 0.345 +/- 0.005 mm utilizando un indicador de carátula fijado a la base del equipo. La luminaria es instalada en un tubo de 1 ¼" utilizando las abrazaderas de fijación propias, este tubo es fijado por medio de pernos a la superficie de la mesa vibratoria.²

Figura 1. Mesa de vibración.



Fuente: Pruebas de vibraciones. Máquinas para ensayos de vibración (en línea) <http://www.vibration-tester-b2b.com/es/electrodynamic-type-vibration-tester.html>

¹ Prueba de vibración [en línea]. Disponible en Internet. <Laboratorio, servicio a clientes externos <http://www.holophane.com.mx/nosotros/laboratorio>>

² Departamento de ingeniería mecánica, Universidad de los andes. Ensayos de Vibraciones y humedad controlada en dos luminarias. [en línea]. Disponible en Internet. <Laboratorio, servicio a clientes externos http://mecanica.uniandes.edu.co/web/?seccion=95&ver=692&lenguaje=es&imec_session=52eca9d257d8982c46809b0ea65964a4>

3.1. BANCO DE PRUEBAS ROTORKIT

El sistema se basa en un disco rotatorio, el cual debe poseer una serie de pesos que cambian la ubicación del centro de masa del disco, haciéndolo desplazarse del centro geométrico de rotación. Esta condición ocasiona un desequilibrio de fuerzas respecto al eje de rotación, induciendo una fuerza en el eje y por ende una deflexión en este, en el caso estático, esta deflexión se aprecia como una curvatura de la viga analizada. En el análisis dinámico esta deflexión se traduce en una vibración por cuanto la posición angular de la deflexión, medida respecto al eje de rotación cambia con el tiempo.³

3.2. MAST(MULTI AXIS SHAKINGTABLE) DE INSTRON:

Sistema de vibración multiaxial, diseñado para el ensayo de vibración de una amplia gama de productos que en algún momento de su vida útil se encuentran sometidos a vibración. La principal característica de estos sistemas es la generación de movimiento y vibración hasta un máximo de 6 grados de libertad individual o simultáneamente.⁴

³ PAREDES B., Edgar.: Puesta en funcionamiento y creación e interfaz gráfica para bancos de ensayo de medición de vibraciones mecánicas. Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ingeniería.2008

⁴ PERDONO C., Andrés: Diseño de un banco de pruebas para la generación de **vibraciones** controladas en sillas de automóviles para la detección de ruidos parásitos. Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ingeniería.2008

4. MARCO TEÓRICO

4.1 VIBRACIÓN

No existe una definición bien exacta de vibración; más sin embargo, se pueden considerar como vibraciones, las variaciones periódicas temporales de diferentes magnitudes.

Muchos sistemas creados por el hombre experimentan vibraciones. Por ejemplo cualquier desequilibrio en las maquinas que poseen partes giratorias, como ventiladores, separadores centrífugos, tornos y turbinas ocasionan vibraciones.⁵

4.2 CONSECUENCIAS DE LAS VIBRACIONES:

Los edificios, estructuras, maquinarias entre otros experimentan vibraciones debido a efectos presentes en su entorno tales como el paso de vehículos, aviones, trenes, o bien debido a fenómenos naturales como sismos o vientos. En los sistemas estructurales, los esfuerzos fluctuantes ocasionados por las vibraciones pueden generar fallas por fatiga. Las vibraciones son también indeseables cuando se efectúan mediciones con instrumentos de precisión, por ejemplo un microscopio electrónico.⁶

4.3 MECANISMOS DE TRANSFORMACIÓN DEL MOVIMIENTO:

En estos mecanismos, el tipo de movimiento que tiene el elemento de entrada del mecanismo es diferente del tipo de movimiento que tenga el elemento de salida, es decir, el tipo de movimiento se transforma en otro distinto, de ahí el nombre de mecanismo de transformación.

⁵ BARAJAS, Oscar Mauricio. Vibraciones mecánicas- modelamiento matemático [en línea]. Disponible en Internet. <http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/vibracionesmecanicas/default2.asp>

⁶ FAIRES, V. M.: Problemas de Diseño de elementos de máquinas. Editorial: Montaner y Simón. Segunda edición. 1971

Los mecanismos de transformación pueden ser, a su vez, agrupados en dos grandes grupos:

- Mecanismos de transformación circular-lineal: En este caso, el elemento de entrada tiene movimiento circular, mientras que el elemento de salida tiene movimiento lineal. Ejemplo: El mecanismo piñón-cremallera.
- Mecanismos de transformación circular-alternativo: En este caso, el elemento de entrada tiene movimiento circular, mientras que el elemento de salida tiene movimiento alternativo. Ejemplo: El mecanismo de biela-manivela.

4.3.1 La leva: En mecánica, una leva es un elemento mecánico hecho de algún material (madera, metal, plástico, etc.) que va sujeto a un eje y tiene un contorno con forma especial. De este modo, el giro del eje hace que el perfil o contorno de la leva toque, mueva, empuje o conecte una pieza conocida como seguidor.

Permite obtener un movimiento alternativo, a partir de uno circular; pero no nos permite obtener el circular a partir de uno alternativo (o de uno oscilante). Es un mecanismo no reversible, es decir, el movimiento alternativo del seguidor no puede ser transformado en un movimiento circular para la leva.

4.3.2 Biela- Manivela: Este mecanismo transforma el movimiento circular de la manivela en un movimiento alternativo del pie de una biela, que es una barra rígida, cuyo extremo está articulado y unido a la manivela. Este sistema también funciona a la inversa, es decir, transforma el movimiento alternativo de la biela en un movimiento de rotación de la manivela. Este mecanismo es esencial, pues se utiliza en motores de combustión interna, máquinas de vapor, máquinas de coser, herramientas mecánicas, etc. En el caso de los motores de los coches, la manivela es sustituida por el cigüeñal, que arrastra los pistones del motor a través de las bielas.⁷

⁷ SHIGLEY, Joseph Edward; MITCHELL, Larry: Diseño en ingeniería mecánica. Editorial McGraw-Hill. Quinta edición.1994

4.4 RESORTES

Los resortes o muelles, que son elementos de máquinas muy empleados e importantes, se utilizan para muchos fines, para absorber energía o cargas de choque, como elementos motores o fuentes de energía, para producir una presión o fuerza, para mantener el contacto entre una leva y su seguidor y para absorber vibraciones.

4.4.1 Energía absorbida por los resortes: Si un cuerpo con la constante K es deformado gradualmente y obedece a la ley de Hooke, la fuerza F necesaria para una deformación determinada es directamente proporcional a la deformación, y la energía elástica es igual a la fuerza media multiplicada por la distancia.

4.4.2 Oscilaciones en los resortes: Al menos que la frecuencia natural de un resorte sea muy diferente de la frecuencia propia o natural de la carga aplicada, puede producirse alguna resonancia, y en este caso las ondas se desplazarán en el sentido de la longitud del resorte. Estas ondas son compresiones y extensiones sucesivas que se propagan de espira en espira, y esto puede originar deformación de las espiras adyacentes iguales a la deformación que se produce cuando el resorte se cierra totalmente por compresión.⁸

4.5 MOTORES ELÉCTRICOS

Es importante recordar desde el principio los motores eléctricos funcionan a través de la interacción del flujo magnético y la corriente eléctrica, o flujo de carga. Ellos liberan fuerza porque una carga que se mueve en un campo magnético produce una fuerza que resulta ser ortogonal al movimiento de la carga y al campo magnético. Describir la interacción en un motor eléctrico requiere de ambos fenómenos, puesto que la conversión de energía tipificada por el par por la velocidad de rotación también debe ser caracterizada mediante la corriente por el voltaje de respaldo.

En general, los motores eléctricos se clasifican en dos categorías: de corriente alterna y de corriente continua. Dentro de estas dos categorías existen subdivisiones.

⁸ BALACHANDRAN, Balakumar: Vibraciones. Editorial International Thomson Editores. Primera Edición. 2006

Los motores de corriente continua y los síncronos de corriente alterna tienen una utilización y aplicaciones muy específicas. Por ejemplo:

Los motores de corriente alterna asíncronos, tanto monofásicos como trifásicos, son los que tienen una aplicación más generalizada gracias a su facilidad de utilización, poco mantenimiento y bajo costo de fabricación.⁹

4.6 VARIADORES DE VELOCIDAD

Los variadores de velocidad son equipos electrónicos que ajustan la velocidad del eje de un motor eléctrico al valor de velocidad seleccionado, sin variar el torque, requieren poco mantenimiento y de rápido control.

Las ventajas de los variadores de velocidad son:

Arranque controlado de la corriente, reducen las perturbaciones de la línea de poder, aceleración controlada, entre otras.

Para implementar un banco de trabajo, se debe iniciar por investigar el tipo de norma a cumplir y sus requerimientos, para proponer un sistema que realice y cumpla con dichos requerimientos, para lograr realizar la prueba y obtener así resultados exitosos.

Los bancos de trabajo permiten detectar fallas y errores que poseen los productos antes de salir al mercado.

Para el caso de los bancos de pruebas para luminarias es necesario que cumpla con la norma NTC 2230, en la cual se establecen reglas generales para la clasificación, el rotulado, así como para su construcción mecánica, eléctrica y los ensayos correspondientes a las luminarias. Esta norma se aplica a las luminarias que utilizan fuentes luminosas eléctricas, con tensiones de alimentación que no excedan de 1000V.

4.7 LUMINARIA

Aparato de iluminación que distribuye, filtra o transforma la luz emitida por una o más bombillas o fuentes luminosas y que incluye todas las partes necesarias para soporte, fijación y protección de las bombillas, pero no las bombillas mismas y, donde sea

⁹ BEATY H, Wayne: Manual del motor Eléctrico. Editorial McGraw-Hill. Primera Edición. 2000.

necesario, los circuitos auxiliares con los medios para conectarlos a la fuente de alimentación.¹⁰

4.8 NORMA NTC 2230, NUMERAL 4.20

Luminarias para condiciones severas de uso-Requisitos concernientes a la resistencia a las vibraciones.

Las luminarias para condiciones severas de empleo deben tener una resistencia adecuada a las vibraciones, la conformidad se verifica por medio del ensayo siguiente:

La luminaria se fija a un generador de vibración en la condición de instalación normal más desfavorable.

La dirección de la vibración deber ser la más desfavorable, y los parámetros de ensayo son:

Duración: 30 min

Amplitud 0.35 mm

Rango de frecuencia: 10Hz, 55Hz, 10Hz

Rata de barrido: aproximadamente un octavo por minuto

Después del ensayo la luminaria no debe tener ninguna pieza suelta que pueda comprometer su seguridad.¹¹

4.9 PRINCIPIO DE ERGONOMÍA

Un principio ergonómico es adaptar la actividad a las capacidades y limitaciones de los usuarios, y no a la inversa como suele ocurrir con mucha frecuencia. Al menos una tercera parte del día lo dedican las personas al trabajo y el resto del tiempo a trasladarse, a realizar actividades en el hogar, o en el teatro, etc. Están formando parte de sistemas P-M cuyas relaciones dimensionales muchas veces no son las adecuadas.

¹⁰ Ministerios de minas y energía. Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público RETILAP. Resolución 180540.

¹¹ Norma Técnica Colombiana NTC 2230. Segunda Actualización. 1999

La producción masiva ha estimulado el diseño de útiles y espacios de actividad ergonómicos en todos los aspectos de la vida, pero hasta el momento no ha sido suficiente, la aplicación sistemática de la ergonomía debe producir una adaptación conveniente de las máquinas a las personas.

4.10 DISEÑO ERGONÓMICO

A la hora de diseñar antropométricamente un mueble, una máquina, una herramienta, un puesto de trabajo con display de variadas formas, controles, etc... Se puede encontrar uno de estos tres supuestos:

- Que el diseño sea para una persona específica.
- Que sea para un grupo de personas.
- Que sea para una población numerosa.

Antes de acometer un estudio de las relaciones dimensionales de un sistema, es necesario analizar los métodos de trabajo que existen o existirán en el futuro; si los métodos no se consideran óptimos debemos rediseñarlos. La secuencia de actuación recomendada para el análisis es la siguiente:

- Los métodos de trabajo que existen o existirán en el puesto.
- Las posturas y movimientos, y su frecuencia.
- Las fuerzas que deberá desarrollar.
- Importancia y frecuencia de atención y manipulación de los dispositivos informativos y controles.
- Ropas y equipos de uso personal.
- Otras características específicas del puesto.¹²

Analizando todas las acciones nombradas anteriormente y siguiendo la secuencia se consiguen los elementos de entrada para iniciar el análisis para el diseño ergonómico.

¹² MONDELO R. pedro, GREGORI Enrique, BARRAU Pedro: Ergonomía 1 Fundamentos. Editorial mutua universal. Tercera edición 1999

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un banco de ensayos para pruebas de vibración para luminarias de acuerdo a la norma NTC 2230 numeral 4:20.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer parámetros a cumplir de la norma NTC 2230 numeral 4.20.
- Plantear las necesidades del proyecto.
- Definir Arquitectura del banco de pruebas.
- Diseñar la geometría que tendrá el banco de pruebas.
- Realizar un prototipo virtual del diseño
- Diseñar un sistema que genere vibraciones severas en un eje.

6. PLANTEAMIENTO DE LA MISIÓN

La misión del proyecto se encarga de establecer las pautas iniciales, las cuales se deben tener en cuenta en el proceso de diseño debido a que en ella se define elementos de gran importancia como lo son las premisas y restricciones.

6.1 Descripción del producto:

- Equipo que permite realizar ensayos de vibración según parámetros de la norma NTC 2230 numeral 4.20 a diferentes tipos de luminarias para alumbrado público.

6.2 Principales objetivos del marketing:

- Realizar pruebas a empresas externas.
- Funcionamiento del producto en máximo 8 meses.

6.3 Mercado primario:

- Empresas ANDILUM S.A.

6.4 Mercado secundario:

- Empresas dedicadas a la fabricación de luminarias para alumbrado público.
- Organismos dedicados a la certificación de luminarias para alumbrado público.

6.5 Premisas y restricciones:

- Partes intercambiables.
- Adaptable a diferentes tipos de luminarias de alumbrado público.
- Cumplimiento de los parámetros exigidos por la norma.

6.6 Partes implicadas:

- Compradores y usuarios.
- Departamento legal.
- Organismos Certificadores.

7. LISTA DE LAS NECESIDADES:

Es necesario aclarar que el sector de la iluminación y la normatividad que le aplica no es muy conocida en el medio industrial, por lo cual se realizó el análisis de las necesidades de la empresa teniendo en cuenta el punto de vista de ingeniería, partes implicadas y normatividad vigente.

- La máquina permite instalar luminarias de formas y dimensiones variadas.
- El equipo podrá manipularse y transportarse fácilmente.
- El equipo no producirá mucho ruido.
- El equipo podrá cumplir con los parámetros norma.
- El equipo no consumirá mucha energía.
- El equipo es resistente.
- El equipo no tendrá un costo muy elevado.
- El equipo será de fácil construcción.
- El equipo será de fácil limpieza.
- El equipo será fácil de operar.
- El equipo permite ver la frecuencia de funcionamiento.
- El equipo es ergonómico.

A continuación se plantean el nivel de importancia de cada necesidad tomando un valor de 1 a 5, siendo 5 el máximo y 1 el mínimo, también se analiza la métrica y la unidad correspondiente.

Cuadro 1. Lista de las necesidades del cliente con su importancia, métrica y unidad

#	NECESIDADES	IMPORTANCIA (1-5)	MÉTRICA	UNIDAD
1	La máquina permite instalar luminarias de formas y dimensiones variadas.	5	funcionalidad	si/no
2	El equipo podrá cumplir con los parámetros norma.	5	funcionalidad	si/no
3	El equipo no producirá mucho ruido	4	ruido	dB
4	El equipo podrá manipularse y transportarse fácilmente.	4	portabilidad, peso	si/no, Kg
5	El equipo será fácil de operar.	4	Fácil operación	si/no
6	El equipo es ergonómico	4	Ergonomía	si/no
7	El equipo no tendrá un costo muy elevado.	3	Costo	Pesos

Cuadro 1.Continuación

8	El equipo no consumirá mucha energía	3	Consumo energético	Watts
9	El equipo es resistente.	3	Material	lista de materiales
10	El equipo será de fácil limpieza.	2	Facilidad de limpieza	si/no
11	El equipo permite ver la frecuencia de funcionamiento.	1	funcionalidad	si/no

Las necesidades planteadas en el cuadro 1 son el punto de partida para la etapa de diseño, ya que son las que establecen las metas a cumplir y parámetros para obtener buenos resultados.

8. RELACIÓN MÉTRICAS CON NECESIDADES.

Teniendo definidas las necesidades y las métricas correspondientes se procede a definir la relación entre ambas.

Cuadro 2. Necesidades VS. Requerimientos

		MÉTRICA	Funcionalidad	Ruido	Costo	Consumo energético	Portabilidad	Peso	Fácil operación.	Facilidad de limpieza	material	Ergonomía
NECESIDADES	PRIORIDAD											
1 La máquina permite instalar luminarias de formas y dimensiones variadas.	5	*		*	*	*	*	*				
2 El equipo podrá cumplir con los parámetros norma.	5	*	*	*								
3 El equipo no producirá mucho ruido	4	*	*	*	*		*				*	
4 El equipo podrá manipularse y transportarse fácilmente.	4	*					*		*			*
5 El equipo será fácil de operar.	4	*		*					*			*
6. El equipo es ergonómico	4	*		*			*					*
7. El equipo no tendrá un costo muy elevado.	3	*	*	*	*						*	*
8. El equipo no consumirá mucha energía	3	*		*	*			*				
9. El equipo es resistente.	3						*	*			*	
10. El equipo será de fácil limpieza.	2						*			*	*	
11.El equipo permite ver la frecuencia de funcionamiento.	1	*		*	*							*

Las métricas son las encargadas de establecer la unidad de medida para las necesidades, al relacionarlas entre ellas generan diferentes puntos de medición para dar cumplimiento a las necesidades.

9. EVALUACIÓN DE SATISFACCIÓN DE LAS NECESIDADES DEL CLIENTE EN PRODUCTOS COMPETIDORES.

Para lograr satisfacer todas las necesidades y tener un aspecto más general sobre la prioridad de cada una, se procede analizar el nivel de prioridad que presentan las maquinas existentes para realizar el mismo ensayo, adoptando una puntuación de 1 a 5 siendo 5 el máximo y 1 el mínimo, representando cada punto con un asterisco (*).

Cuadro 3. Evaluación de las necesidades con los productos competidores.

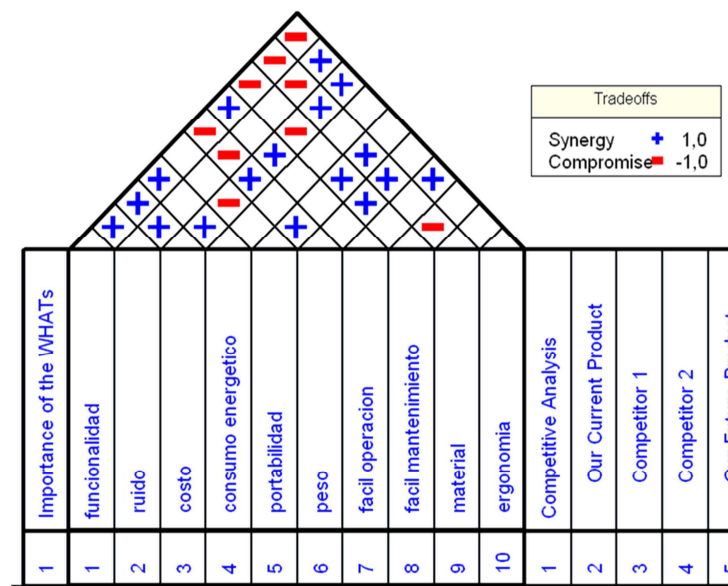
	COMPETIDOR	MAQUINA ROY ALPHA	MAQUINA UNIVERSIDAD NACIONAL SEDE BOGOTÁ	MAQUINA ELECTRO CONTROL
NECESIDADES	PRIORIDAD			
1 La máquina permite instalar luminarias de formas y dimensiones variadas.	5	*****	*****	***
2. El equipo podrá cumplir con los parámetros norma.	5	*****	*****	*****
3. El equipo no producirá mucho ruido	4	***	***	****
4. El equipo podrá manipularse y transportarse fácilmente.	4	***	**	***
5. El equipo será fácil de operar.	4	****	**	***
6.El equipo es ergonómico	4	***	***	***
7. El equipo no tendrá un costo muy elevado.	3	**	**	***
8. El equipo no consumirá mucha energía	3	***	****	***
9. El equipo es resistente.	3	***	***	***
10. El equipo será de fácil limpieza.	2	*	*	*
11. El equipo permite ver la frecuencia de funcionamiento.	1	***	***	**

En el cuadro 3 se comparan las necesidades obtenidas contra la importancia de las necesidades en los productos competidores, ayudando en el análisis de prioridad de cada una de ellas. Y se obtiene que al igual que las necesidades planteadas, cumplir los parámetros de la norma y permitir la instalación de diferentes tipos de luminarias sean las de mayor prioridad.

10. RELACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS

En algunas ocasiones suele suceder que las métricas se encuentran relacionadas entre ellas, generando así que al modificar una afecte la otra, para tener visión de estas circunstancias se analiza la relación entre los requerimientos.

Figura 2. Relación de los requerimientos

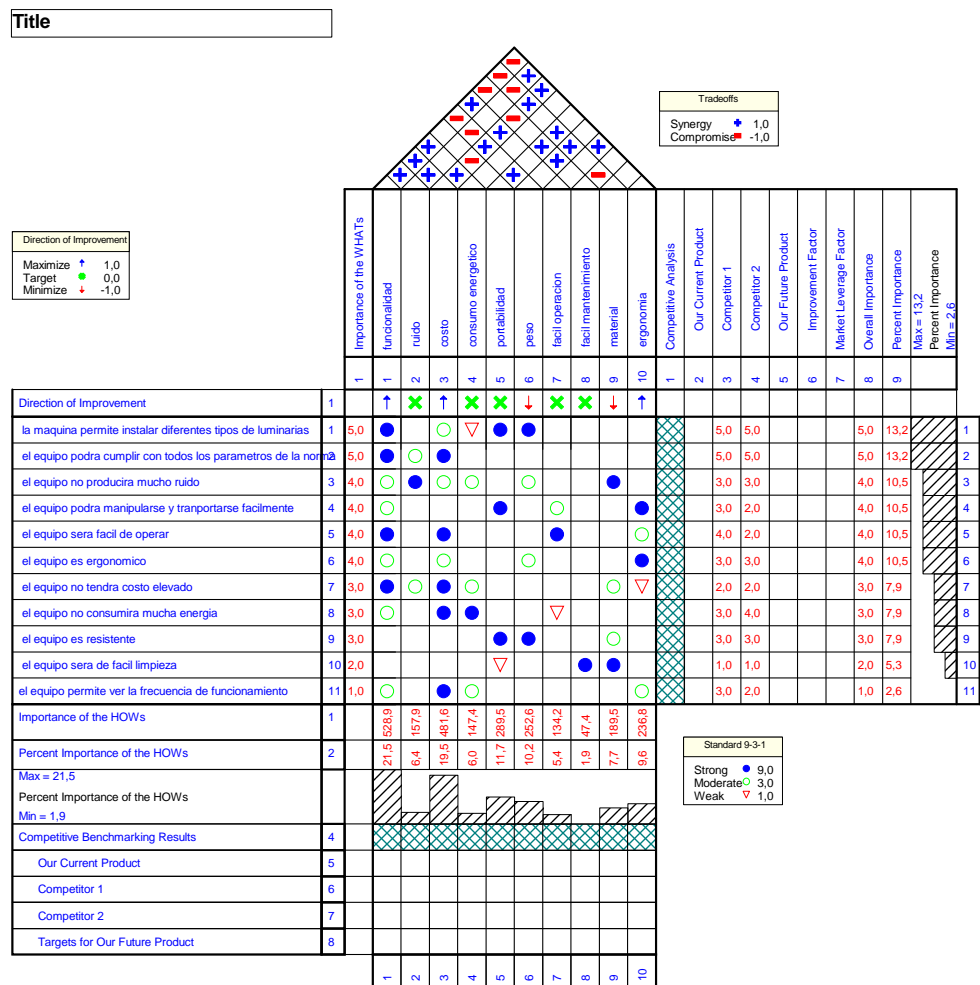


De la figura 2 se concluye que el costo y la funcionalidad son los requerimientos que más comprometidos están con los otros requerimientos, razón por la cual se debe tener en cuenta al momento de diseñar.

11.QFD

La casa de calidad o QFD es de gran ayuda al momento de realizar el proceso de diseño de algún producto, ayudando a entender mejor las prioridades de los clientes y poder responder a las necesidades, con ayuda del software QFD CAPTURE se realiza la casa de la calidad.

Figura 3. Qfd



En la figura 3 se observa la casa de la calidad de la cual se puede concluir que las métricas que deben tener mayor importancia y que sirven como unidades de medida de aquí en adelante para la realización del diseño son la funcionalidad, costo, portabilidad, peso y ergonomía. Es decir que las métricas nombradas anteriormente son las que obtuvieron mayor porcentaje.

Y de acuerdo al nivel de importancia que posee cada necesidad, tanto para la empresa como para sus competidores, las necesidades en la cuales se enfoca para la etapa de diseño son la capacidad de instalar diferentes tipos de luminarias, el cumplimiento de los parámetros, la ergonomía, la fácil operación y el bajo nivel de ruido.

Las métricas y necesidades con mayor porcentaje de importancia en la casa de la calidad, serán las que tengan mayor atención en el proceso de diseño para lograr satisfacerlas correctamente.

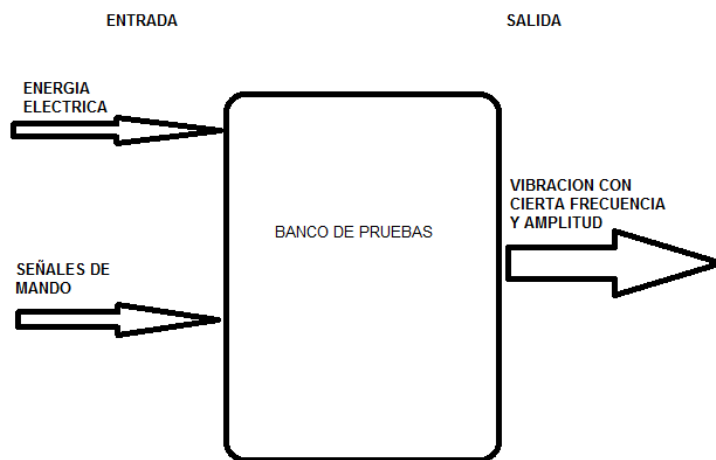
12. GENERACIÓN DE CONCEPTOS

Para iniciar el proceso de generación de conceptos se necesita tener una visión macro del diseño a realizar, razón por la cual el primer paso es realizar una descomposición funcional de la máquina y planta las variables de entrada y salida para luego obtener las sub funciones de cada elemento.

12.1 DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL

La Figura 4 indica cómo se divide el proceso en diferentes funciones y sub funciones, para analizar cuál sería la función de cada uno de los elementos presentes en el banco con el objetivo de cumplir con el objetivo principal.

Figura 4. Descomposición Funcional

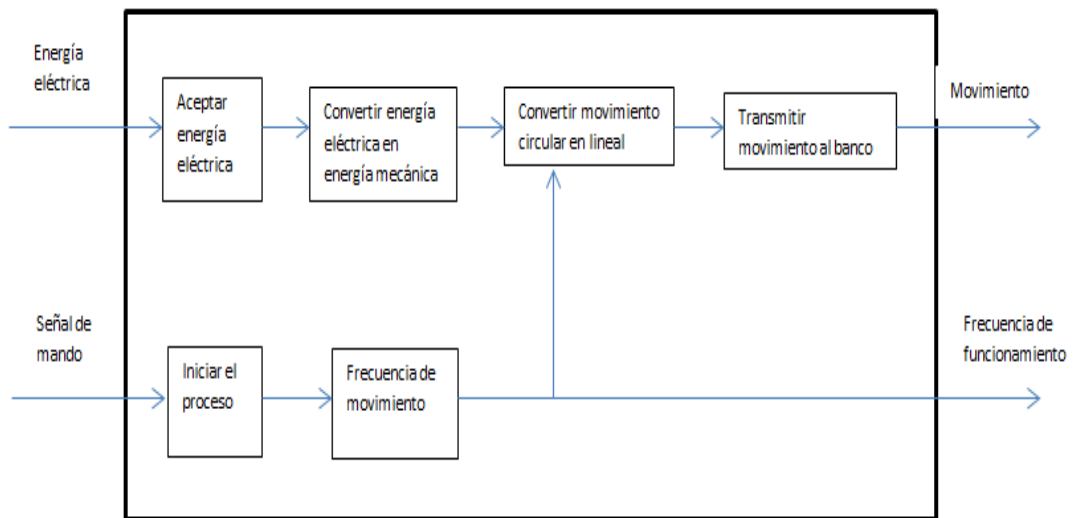


La descomposición funcional del sistema en forma de caja negra indica cuáles serán las variables ingresadas por parte del usuario al banco de pruebas para obtener el movimiento necesario, donde se trabaja con energía eléctrica para alimentación el banco, se ingresa una opción de encendido a la máquina y esta entrega la vibración de acuerdo a los parámetros exigidos por la norma.

12.2 SUB FUNCIONES

Ya que se tiene una idea muy general del sistema sin la suficiente información, se presenta en la figura 5 una descomposición de las funciones de todo el sistema en sub funciones más básicas.

Figura 5. Descomposición del Sistema



La figura 5 muestra las funciones básicas para el cumplimiento del objetivo, la cual inicia con la recepción de energía eléctrica y una señal de mando que dará inicio al proceso, el proceso se basa en aceptar la energía eléctrica convertirla en energía mecánica realizando un movimiento circular luego por medio de elementos mecánicos se transformara este movimiento circular en movimiento lineal para luego transmitirlo al eje de vibración del banco.

13. CONCEPTOS GENERADOS

13.1 Convertir energía eléctrica en energía mecánica:

- motor de corriente continua.
- Motor de corriente alterna

13.2 Frecuencia de movimiento:

- Circuito electrónico.
- Variador de velocidad.

13.3 Convertir movimiento circular en lineal:

- Árbol de levas
- cigüeñal
- Biela y excéntrica

13.4 Transmitir movimiento al banco:

- Resortes

Basándose en las sub funciones del sistema se plantean los diferentes elementos que pueden realizar dicha función, para luego dar paso a las distintas alternativas de diseño realizando una combinación de todas las opciones posibles.

14. ALTERNATIVAS DE DISEÑO

A continuación se plantean las diferentes opciones de diseño, mediante la combinación de todos los conceptos generados para luego evaluar cuál es el más óptimo para cumplimiento del objetivo.

Cuadro 4. Alternativas para el diseño.

#concepto	convertir energía eléctrica en mecánica	controlar frecuencia	convertir movimiento circular en lineal	transmisión de movimiento
A	Motor corriente continua	circuito electrónico	árbol de levas	resortes
B	Motor corriente continua	circuito electrónico	cigüeñal	resortes
C	Motor corriente continua	circuito electrónico	biela y excéntrica	resortes
D	Motor corriente continua	variador de velocidad	árbol de levas	resortes
E	Motor corriente continua	variador de velocidad	cigüeñal	resortes
F	Motor corriente continua	variador de velocidad	biela y excéntrica	resortes
G	Motor corriente alterna	circuito electrónico	árbol de levas	resortes
H	Motor corriente alterna	circuito electrónico	cigüeñal	resortes
I	Motor corriente alterna	circuito electrónico	biela y excéntrica	resortes
J	Motor corriente alterna	variador de velocidad	árbol de levas	resortes
K	Motor corriente alterna	variador de velocidad	cigüeñal	resortes
L	Motor corriente alterna	variador de velocidad	biela y excéntrica	resortes

En el cuadro 4 se presentan posibles opciones para realizar las funciones necesarias para el funcionamiento del banco con el fin de analizar cuál es la óptima y que logre suplir todas las necesidades del cliente, no se podrán tener en cuenta todas las alternativas presentadas puesto que algunas no son viables para el desarrollo del producto.

Los conceptos se generaron a raíz de las combinaciones de todas las sub funciones, de aquí se analizarán cuáles son los más viables para comenzar el análisis y escoger el concepto óptimo y ajustado a las necesidades.

15. TAMIZAJE DEL CONCEPTO

Para poder llevar a cabo la selección de conceptos, se optó por evaluarlas por medio de una matriz, donde se relacionan las variantes de diseño con los criterios de selección para poder obtener las opciones viables al momento de desarrollar el proyecto.

Cuadro 5. Matriz de tamizaje

CRITERIO DE SELECCIÓN	Variantes de conceptos											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
La máquina permite instalar diferentes tipos de luminarias	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
El equipo cumple con los parámetros de la norma	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+
El equipo no producirá mucho ruido	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+
El recipiente podrá manipularse y transportarse fácilmente.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
El equipo será de fácil operar	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+
El equipo es ergonómico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
El equipo no tendrá un costo elevado	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-
El equipo no consumirá mucha energía	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
El equipo es resistente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
El equipo será de fácil limpieza	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
El equipo permite ver la frecuencia de funcionamiento	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+
POSITIVOS	2	2	3	5	5	5	3	3	4	5	5	6
IGUALES	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
NEGATIVOS	5	1	4	2	2	2	4	4	3	2	2	1
TOTAL	-3	1	-1	3	3	3	-1	-1	1	3	3	5
ORDEN	5	3	4	2	2	2	4	4	3	2	2	1
CONTINUAR	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI

Del cuadro 5 se eliminan los conceptos A, B, C, D, E, F, G, H debido a que no cumplen con algunas de las necesidades principales como lo son el cumplimiento de los parámetros, la fácil operación y el bajo ruido, resultando como objeto de la evaluación de conceptos las ideas J, K, L.

De los cuales se concluyen que la única variable por definir es la conversión de movimiento circular en movimiento lineal teniendo como métrica el bajo nivel de ruido en funcionamiento.

16. EVALUACIÓN DEL CONCEPTO

Partiendo de tener clasificadas las ideas más viables para desarrollar el proyecto se procede a ponderar los criterios de acuerdo a las necesidades del cliente, para darle un puntuación entre 1 y 5 en cada concepto a cada una de las ideas seleccionadas.

Cuadro 6. Matriz de evaluación del concepto

CRITERIO DE SELECCIÓN	PONDERACIÓN	J		K		L	
		NOTA	C.P.	NOTA	C.P.	NOTA	C.P.
La máquina permite instalar diferentes tipos de luminarias	14	5	0,7	5	0,7	5	0,7
El equipo cumple con los parámetros de la norma	14	5	0,7	5	0,7	5	0,7
El equipo no producirá mucho ruido	12	3	0,36	4	0,48	5	0,6
El recipiente podrá manipularse y transportarse fácilmente.	5	4	0,2	4	0,2	4	0,2
El equipo será de fácil operar	11	4	0,44	4	0,44	4	0,44
El equipo es ergonómico	11	5	0,55	5	0,55	5	0,55
El equipo no tendrá un costo elevado	9	3	0,27	3	0,27	4	0,36
El equipo no consumirá mucha energía	8	3	0,24	3	0,24	3	0,24
El equipo es resistente	5	5	0,25	5	0,25	5	0,25
El equipo será de fácil limpieza	4	5	0,2	5	0,2	5	0,2
El equipo permite ver la frecuencia de funcionamiento	7	5	0,35	5	0,35	5	0,35
TOTAL		4,26		4,38		4,59	
ORDEN		3		2		1	
CONTINUAR		NO		NO		SI	

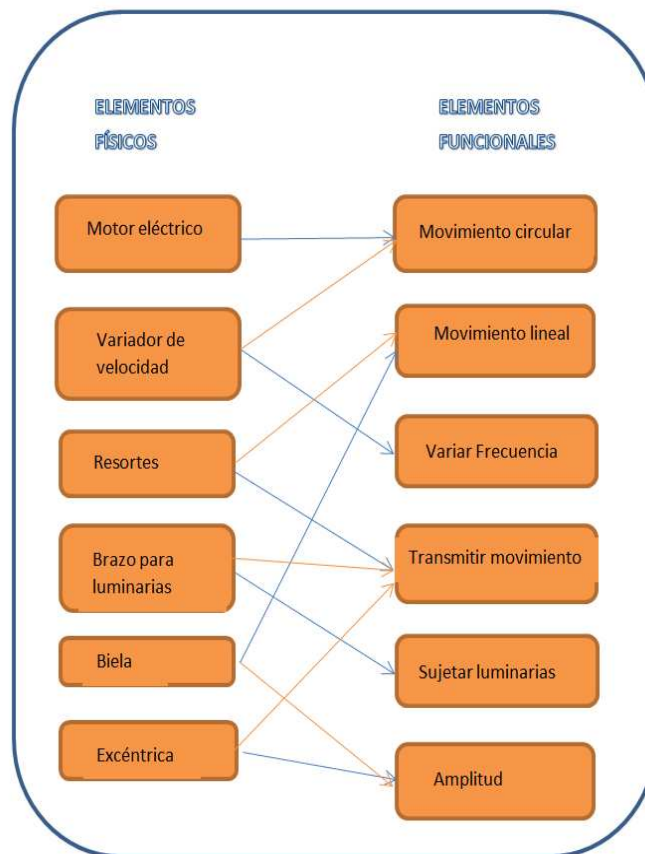
En el cuadro 6 se obtuvo como ganador el concepto L puesto que obtuvo mayor puntaje debido a que en las necesidades con mayor ponderación obtuvo calificaciones muy alta, lo que quiere decir que logra satisfacer las necesidades principales de una forma óptima.

17.ARQUITECTURA DEL PRODUCTO

En la figura 6 se presentan los principales elementos físicos que deberá poseer la máquina, con los elementos funcionales para el concepto ganador de la etapa de evaluación del concepto.

Para brindarle al usuario la opción de mantenimiento, portabilidad ,reutilización y mejoramiento, se considera útil la utilización de arquitectura modular, que permita instalar componentes estándar, para que en el momento de mantenimiento o reparación sea de gran facilidad.

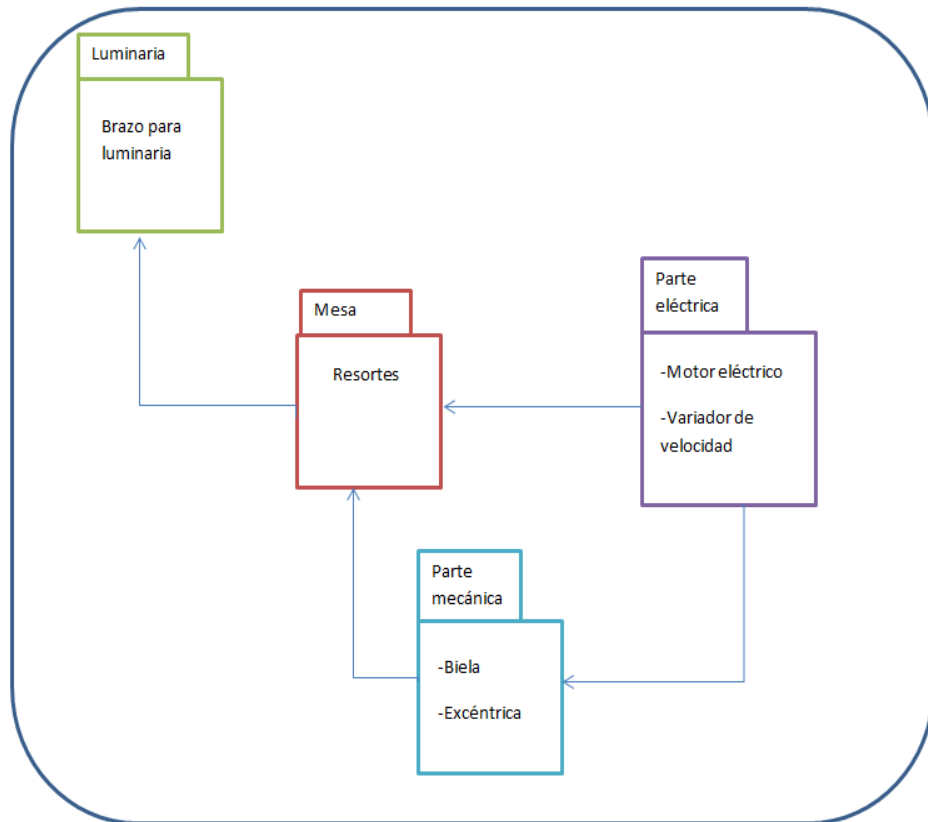
Figura 6. Arquitectura del producto.



En la figura 6 se observa que el concepto generado es coherente a una arquitectura modular debido a que sus conjuntos realizan una o dos funciones, al tener esta arquitectura el dispositivo la interacción entre los diferentes bloques sin ser incidentales.

18.INTERACCIONES FUNDAMENTALES ENTRE CONJUNTOS

Figura 7. Interacciones entre los conjuntos.

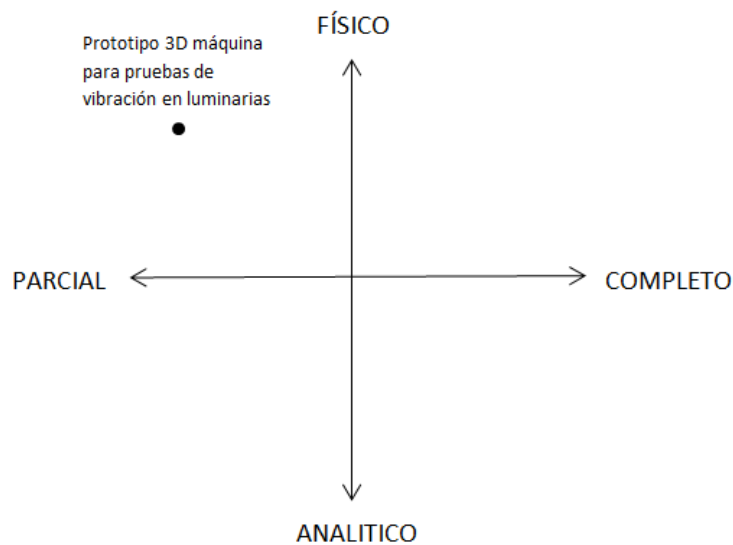


Entre las interacciones de los conjuntos se observa que el variador de velocidad será el encargado de recibir la alimentación eléctrica para poder transmitirla al motor, el motor le transmite movimiento circular a la excéntrica y por medio de la biela se convierte en movimiento lineal para finalmente transmitirlo a la mesa la cual por medio de los resortes amortigua y le aplica el efecto de vibración al eje del brazo de la luminaria; en este procesos también aparecen otros elementos como ejes, rodamientos, cuñas los cuales se analizaran en el proceso de prototipado.

19. PROTOTIPADO

La etapa de prototipado, es una de las etapas en el proceso de diseño más importante, puesto que se da a conocer la apariencia del producto, una visión más a fondo de su funcionalidad y practicidad sin dejar a un lado la parte estética.

Figura 8. Prototipo a desarrollar.



En la figura 8 se puede observar que se va a realizar un prototipo físico-parcial por medio de la creación de un modelo 3D en el cual se podrá observar el funcionamiento del banco de pruebas y todos sus componentes, así como también su apariencia física y estética.

19.1 CONSIDERACIONES DEL DISEÑO

A través del software informático SOLID WORKS y sus herramientas CAD para diseño, se realiza un modelo 3D de cada una de las partes implicadas en el banco de pruebas las cuales son:

- Mesa.
- Resortes.
- Plancha de vibración.
- Biela.
- Excéntrica.

- Ejes.
- Brazo de la luminaria.
- Variador de velocidad.

Es importante aclarar que los brazos para las luminarias dependen del tipo de luminaria a instalar, y se desarrollaran a pedido del cliente, y por tanto las medidas y diámetros dependerán de eso.

A continuación se procede a deducir las medidas de las partes implicadas, por medio de ecuaciones matemáticas, consideraciones de diseño y las especificaciones del cliente.

Cuadro 7. Especificaciones del diseño

ESPECIFICACIONES DE DISEÑO		
ESPECIFICACIONES	VALOR	UNIDAD
FRECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO	10-55-10	Hertz
AMPLITUD	0,35	Milímetros
RATA DE BARRIDO	1/8	
DURACIÓN DE LA PRUEBA	30	Minutos
LARGO LUMINARIA 70w	0,483	Metros
LARGO LUMINARIA 150w	0,654	Metros
LARGO LUMINARIA 250w	0,654	Metros
LARGO LUMINARIA 400w	0,857	Metros

En el cuadro 7 se puede observar cada una de las variables necesarias para tener en cuenta al momento de realizar el diseño detallado para el dimensionamiento y funcionalidad de cada una de las partes, estas especificaciones fueron obtenidas de la norma y de la información suministrada por el cliente.

A continuación se procede a iniciar el dimensionamiento de todos los elementos necesarios para el óptimo funcionamiento de la máquina de vibración, basados en las normas de ergonomía para el puesto de trabajo, estaturas promedio, funcionamiento esperado entras otras variables que se explicaran a medida que se realice el proceso de prototipado.

19.2 DISEÑO DE LA MESA

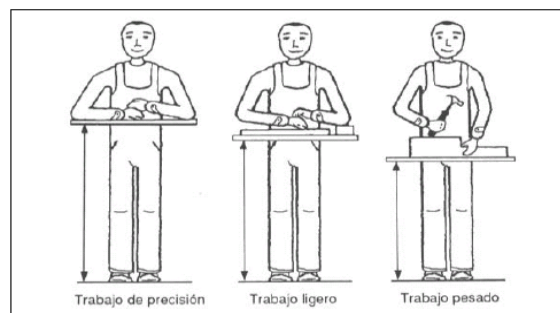
El diseño de la mesa depende directamente de las normas de ergonomía las cuales plantean, que para el puesto de trabajo para posición de pie se debe tener en cuenta:

- Estar frente al producto o la máquina.
- Mantener el cuerpo próximo al producto de la máquina.
- Mover los pies para orientarse en otra dirección en lugar de girar la espalda o los hombros.

La altura óptima de la superficie de trabajo depende naturaleza del trabajo como lo indica la Figura 9 Para trabajo de precisión, la altura de la superficie de trabajo debe ser de 0 a 10 cm. por encima del codo, lo cual sirve de soporte reduciendo las cargas estáticas en los hombros.

Para trabajo ligero, la altura de la superficie de trabajo debe de ser de 0 a 10 cm. por abajo del codo para materiales y herramientas pequeñas. Para trabajo pesado, la altura de la superficie de trabajo debe ser de 10 a 20 cm. abajo del codo para permitir un buen trabajo muscular de la extremidad superior.

Figura 9. Altura del puesto según trabajo realizado



Fuente. Facultad de ingeniería industrial, laboratorio de producción. Diseño antropométrico de puestos de trabajo [En línea]. Institución universitaria: Escuela colombiana de ingeniería Julio Garavito.2009

<http://copernico.escuelaing.edu.co/lpinilla/www/protocols/ERGO/DISENO%20DE%20PUESTO%20DE%20TRABAJO%202009-2.pdf>

Basados en esto se decide adoptar la altura para trabajo ligero puesto que el usuario no estará por largos periodos de tiempo en la máquina, y la herramienta a manipular para sujeción del brazo de la luminaria es de fácil manejo.

Teniendo en cuenta que la altura promedio de los hombres de 1,70mt y la altura a los codos de 1,04mt, se necesita que la altura de la mesa se encuentre entre el rango de 0.94 mt-1,04 mt.

Las luminarias de alumbrado público que presentan mayor dimensiones son las carcasas enterizas de 400W, aunque la empresa ANDILUM S.A. todavía no distribuye ni fabrica este tipo de luminaria se toma como objeto de diseño para lograr hacer uso de la maquina en todas la referenciar. Para tener referencia sobre las dimensiones de la luminaria se tomara la luminaria de 400W del actual distribuidor de carcasas para la empresa.

Por estas razones las dimensiones ideales de la mesa son:

Altura=1.10mt

Ancho=0.74mt

Largo=0.97mt

Se debe fabricar en Angulo de hierro de 3/16" * 1 ½" y tubería de hierro de 1" calibre 16.

Adicionalmente debe llevar una estructura en forma de T para la sujeción del motor, que debe estar separada 0.14mt de la mesa para permitir el ingreso del motor y una longitud de 0,25mt para sujetarlo, de igual forma debe fabricarse en Angulo de hierro de 3/16" * 1 ½".

Figura 10. Prototipo 3D de la mesa

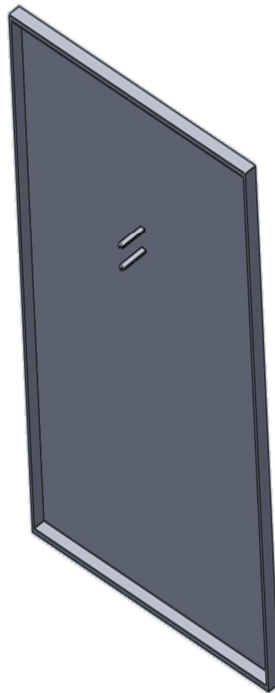


19.3 DISEÑO DE PLANCHA

La plancha será la encargada de recibir el movimiento vibración y sostener el brazo de la luminaria para lograr la simular la posición de funcionamiento de la luminaria, la plancha fue calculada de acuerdo a las dimensiones tomadas como base de la luminaria de 400 W por esta razón las dimensiones ideales de la plancha son: 1mt*0.72mt*0.05mt.

También debe llevar dos bridas con dimensiones de 0,04mt de ancho por 0,10mt de alto y espesor de 0.005mt, separadas 0,040mt entre los ejes de ellas para unir el sistema mecánico con la plancha mediante la adaptación de un eje. Debe fabricarse en Angulo de hierro de 3/16" * 1 1/2" y platina de acero de 1/4".

Figura 11. Prototipo 3D de la plancha

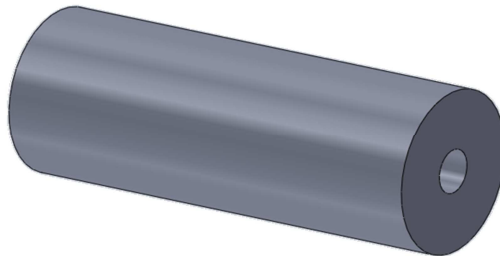


19.4 DISEÑO EJE DE LA PLANCHA

Para permitir la transmisión del movimiento entre el sistema mecánico y la mesa se instala un eje entre las bridas que poseen la plancha y el pie de la biela. Las dimensiones del eje deben ser 0,039mt de largo con un diámetro exterior 0,012mt con rosca interna de 5/32" para ubicar dos tornillos en sus extremos para evitar el movimiento horizontal del eje.

El material a usarse es AISI 1045 debido a su resistencia y dureza necesaria para usarse en ejes.

Figura 12. Prototipo 3D del eje



19.5 DISEÑO DE LOS RESORTES

Los resortes ayudaran a transmitir, mantener y amortiguar el movimiento en la plancha, por esta razón se ubicaran 4 resortes en los extremos de la mesa, los diámetros y numero de espiras fueron calculados para resistir el peso de la plancha en funcionamiento normal.

Por regla general el índice del resorte debe estar entre 3 y 20, debido a que los resortes diseñados por fuera de este rango resultan muy costosos y de difícil fabricación para objeto del diseño se tomó un índice de 11.

Conociendo el índice del resorte (C_r) y suponiendo un diámetro del resorte (D_{mres}) de 0,53 cm se calcula el diámetro de la espira.

$$D_{mres} = \frac{D_{mres}}{C_r} = 0.48 \text{ cm}$$

El material a usar para los resortes es AISI 5160 debido a su gran durabilidad en trabajo de compresión y tracción.

Luego se procede a calcular la tasa del resorte con la siguiente ecuación:

$$K_s = \left(1 + \frac{0.5}{C_r}\right) = 1.04$$

Para saber si el material seleccionado es el correcto para el funcionamiento se procede a calcular las tensiones medias para compararla con las del material.

$$\tau_m = \frac{8 * F_m * D_{mres}}{\pi * D_m^3} = 86.3 \frac{Kgf}{mm}$$

$$86.3 \leq 115.8$$

Al cumplirse esta relación se verifica que el material elegido y los diámetros de los resortes son óptimos para el trabajo a realizar y se puede continuar calcular las otras variables del resorte.

Para el cálculo de la constante del resorte se utiliza la ecuación:

$$K = \frac{F}{y} = 228,5$$

Para finalizar el diseño de los resortes se calcula el número de espiras necesarias.

$$N_a = \frac{D_{mesp}^4 * G}{8 * D_{mres} * k} = 2.5$$

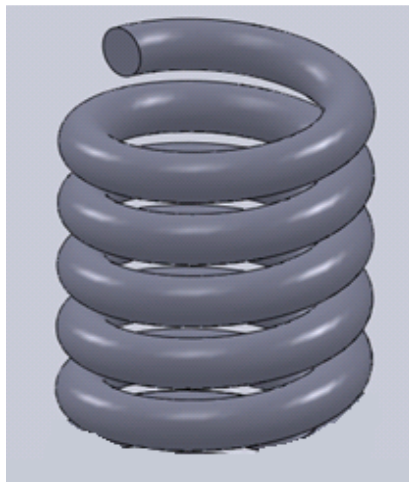
El valor obtenido es 2,5 número de espiras pero por procesos lógicos se aproxima a 3, mas sin embargo este es el valor de las espiras activas para obtener el número total se le debe sumar 2 obteniendo que el valor total de numero de espiras es 5.

Resultando así que los parámetros del resorte necesarios son:

Cuadro 8 Parámetros del resorte

Material	AISI 5160
Diámetro del resorte	5,3Cm
Diámetro de la espira	0,5cm
Numero de espiras	5
Longitud	10 cm

Figura 13. Prototipo 3D Resorte



19.6 DISEÑO DE BIELA

Para la conversión del movimiento rotacional que entrega el motor a movimiento lineal que se necesita se utilizara una biela, una excéntrica y rodamiento para lograr generar la vibración a continuación se realizara el diseño de la biela.

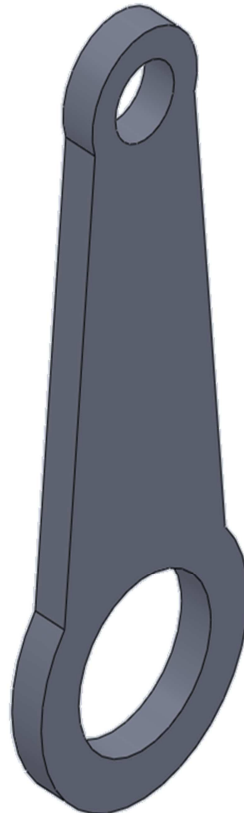
Partiendo de la ubicación del motor el cual se encuentra en el soporte en T que trae la mesa se necesita una altura de 0.13mt para lograr ubicar el centro del pie de la biela con las bridas existentes en la plancha.

El pie de la biela debe tener 1,2 cm de diámetro interno, la cabeza de 3 cm de diámetro y una distancia entre ejes de 9.4cm.

Los materiales más usados para la fabricación de las bielas son acero forjado, titanio y aluminio, en este caso se utilizara fundición gris de hierro debido a que

poseen un costo relativamente bajo, fácil adquisición en el mercado nacional y resistencia al desgaste.

Figura 14. Prototipo 3D Biela

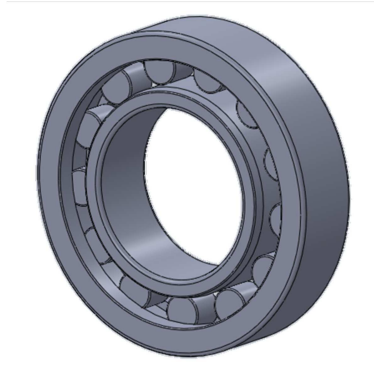


19.7 DISEÑO DEL RODAMIENTO

El rodamiento es el encargado de permitir la rotación relativa entre la excéntrica y la biela evitando la fricción entre ambas partes, en este caso se eligió un rodamiento de rodillo cilíndrico el cual es resistente a cargas radiales o perpendiculares al eje, debido a que tiene mayor contacto en la superficie y al no presentarse cargas axiales o paralelas al eje lo hace óptimo para esta aplicación.

Las dimensiones del rodamiento son diámetro externo 29mm, diámetro interno 25mm y ancho 14mm.

Figura 15. Prototipo 3D rodamiento



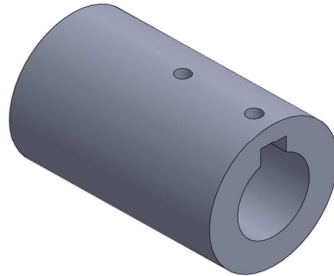
19.8 DISEÑO DE LA EXCÉNTRICA

El elemento encargado de generar y mantener la amplitud de la vibración de 0,35mm exigida por la norma, es la excéntrica la cual con ayuda del rodamiento y la biela convierte el movimiento rotacional del motor en movimiento lineal, la excéntrica se ubica en el eje del motor y su diámetro externo se aloja en el diámetro interior del rodamiento.

Partiendo de tener el diámetro interior del rodamiento el cual es de 25mm, se inicia el diseño de la excéntrica la cual debe tener un diámetro exterior de 25mm y una longitud de 39mm, en una de sus caras laterales se debe realizar un orificio roscado de 5/32 NC para ubicar una tapa la cual evitara el movimiento horizontal del rodamiento y la biela.

En la otra cara lateral de la excéntrica se debe realizar un agujero de 14mm con el eje de rotación 0,35mm por fuera del eje geométrico para incrustar el eje del motor, también es necesario realizar un cuñero con 2 agujeros roscados 5/32 NC, en cual se insertara la cuña que trae el motor para evitar el deslizamiento entre el motor y la excéntrica; las dimensiones del cuñero deben ser 3mm de alto, 5mm de ancho y 18mm de profundidad, estos valores fueron obtenidos a partir de las fichas técnicas de los motores eléctricos convencionales y fabricarse en material AISI 1045.

Figura 16. Prototipo 3D excéntrica



19.9 MOTOR ELÉCTRICO

Basado en la fuerza que se ejercerá sobre el eje del motor y el brazo de giro se calculó el torque para poder obtener la potencia necesaria del motor:

$$\tau = F * D$$

Donde F es igual a la fuerza que se ejercerá sobre el motor y D el radio de la excéntrica.

Por lo tanto:

$$\begin{aligned}\tau &= 80 * 0.015 \\ \tau &= 1.2 \text{ Nm}\end{aligned}$$

De acuerdo a la norma NTC 2230 numeral 4.20 la rampa de frecuencia debe ser 10Hz-55Hz-10Hz, para cumplir correctamente la norma entonces es necesario calcular las rpm del motor necesarias.

Teniendo la frecuencia máxima que es de 55 Hz se calculara la velocidad angular para luego cambiar sus unidades a rpm.

$$\begin{aligned}\omega &= 2\pi * f \\ \omega &= 345 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}\end{aligned}$$

Teniendo el torque y la velocidad angular necesaria se procede a calcular la potencia necesaria del motor:

$$P = \tau * w$$

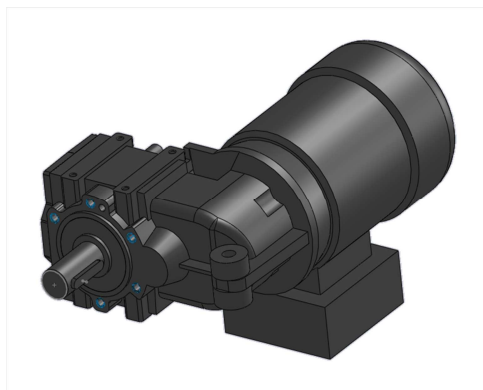
$$P = 1.2 * 345$$

$$P = 414 \text{ watts}$$

$$P = 0.55 \text{ HP}$$

Por cuestión de facilidad al momento de conseguir el motor se decide por un motor de 0,5HP.

Figura 17. Prototipo 3D del motor



19.10 DISEÑO FINAL DE LA MAQUINA

Hasta el momento se han diseñado los diferentes elementos necesarios para el funcionamiento de la máquina de vibración, con el fin de evidenciar la metodología de diseño aplicada y verificación de la arquitectura modular.

A continuación se ensamblan todos los elementos y se logra obtener el diseño final de la máquina de vibración, en un prototipo virtual desarrollado en el software de diseño, brindado así la idea clara de la apariencia final del sistema

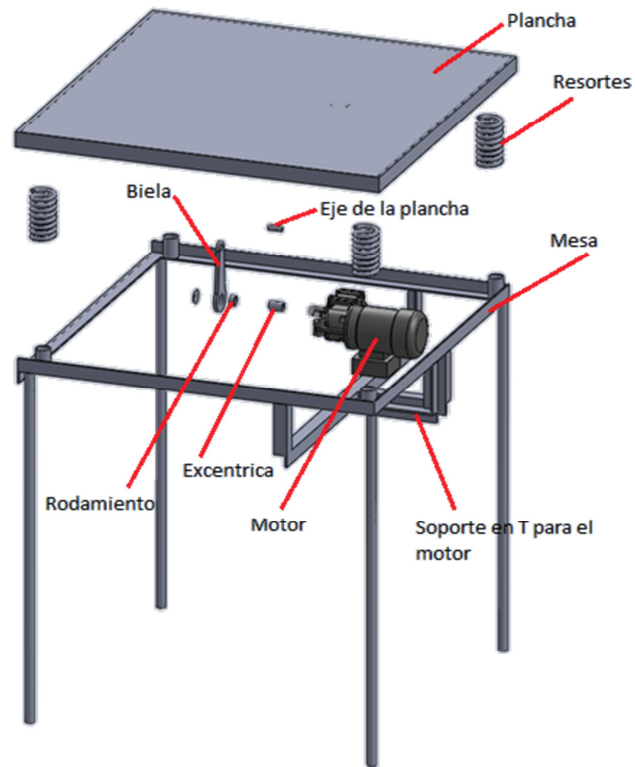
Figura 18. Prototipo 3D Máquina de vibración-Vista general



Figura 19. Prototipo 3D Máquina de vibración-Vista frontal



Figura 20. Prototipo 3D Máquina de vibración-Despiece



19.11 VARIADOR DE VELOCIDAD

Para lograr variar la frecuencia entre el rango exigido por la normatividad se utiliza un variador de velocidad debido a que se tiene buen control de proceso, ahorro energético y es de gran facilidad al momento de instalar, programar y poner en marcha.

Se optó por conseguir variadores de velocidad de fabricantes con buen respaldo en el mercado para facilitar su mantenimiento o reemplazo en caso de falla, además de brindarle garantía al cliente al momento de adquirirlo. El fabricante seleccionado fue SIEMENS el cual presenta productos de excelente calidad a buen costo, entre las referencias se tienen:

19.11.1 Sinamics g110.

Figura 21. Variador de velocidad siemens, sinamics g110



Fuente. Siemens región Austral-Andina, [En línea].

http://www.siemens.com.co/siemensdotnetclient_andina/templates/PortalRender.aspx?channel=76

Entre las ventajas de este variador se tiene larga vida útil, poco espacio para instalación y fácil configuración, desventaja alto costo comparado con las otras referencias.

19.11.2 Sinamics g120

Figura 22. Variador de velocidad siemens, sinamics g120



Fuente. Siemens región Austral-Andina, [En línea].

http://www.siemens.com.co/siemensdotnetclient_andina/templates/PortalRender.aspx?channel=76

Las ventajas encontradas para esta referencia son estructura modular, recuperación de energía y funciones básicas de seguridad, desventajas costo muy elevado comparado con las otras referencias y presenta funciones no necesarias para la idea planteada de la máquina.

19.11.3 Micro master 420

Las ventajas micro master 420 son puesta en servicio rápido y sencillo, ahorro de energía, control de velocidad sofisticado de torque y velocidad, fácil adquisición.

Figura 23. Variador de velocidad siemens, Micro master 420.



Fuente. Siemens región Austral-Andina, [En línea].

http://www.siemens.com.co/siemensdotnetclient_andina/templates/PortalRender.aspx?channel=76

Luego de observar las ventajas y desventajas de las 3 opciones se decide realizar el diseño de la maquina con el micro master 420, el cual presenta las funciones necesarias para cumplir el objetivo, tales como generación de rampas de funcionamiento, configuración de rata de barrido, tiempo de aceleración y desaceleración, además tiene un costo aceptable y fácil instalación.

19.11.4 Configuración del micro master 420

Para lograr cumplir con los parámetros de la norma NTC 2230 numeral 4,20 la cual especifica que los parámetros de funcionamiento deben ser:

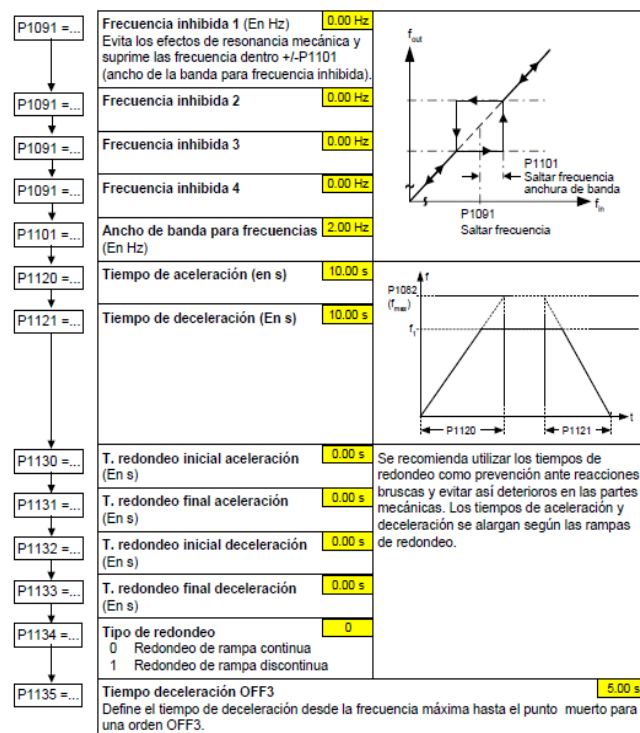
Duración: 30 min

Rango de frecuencia: 10Hz, 55Hz, 10Hz

Rata de barrido: aproximadamente un octavo por minuto

Es necesario configurarle la rampa de funcionamiento en los parámetros del variador de velocidad, está configuración se realiza por medio del panel BOP adquirido al momento de comprar el variador de velocidad.

Figura 24. Generador de rampas para el micro master 420



Fuente. Micro master 420, instrucciones de servicio (resumen) [En línea].

<http://cache.automation.siemens.com/dnl/Tc/TczNDY1MzUA_19280273_HB/420_COM_19280273_sp_0704.pdf>

Luego de tener diseñados todos los elementos necesarios para el óptimo funcionamiento del banco de pruebas y haber realizado la simulación de su funcionamiento se procede a calcular el costo de fabricación.

20. DISEÑO PARA MANUFACTURA

El diseño para manufactura es una de las etapas importantes durante el desarrollo de un producto debido a que el costo de manufactura tiene una relación directa con el éxito del producto, razón por la cual es necesario conseguir los costos más favorables para la producción y componentes que garanticen un buen nivel de calidad.

Partiendo de tener los diferentes prototipos virtuales realizados por medio de la herramienta CAD/CAE y la base de datos de los proveedores nacionales e internacionales que maneja la empresa ANDILUM S.A. se realiza los costos de manufactura. Para garantizar buenos costos, tiempo de entrega y calidad de los componentes se realiza la cotización con los proveedores manejados por la empresa.

20.1 SELECCIÓN DE COMPONENTES.

Para garantizar un óptimo funcionamiento de los componentes y del banco de pruebas como tal es necesario tener en cuenta las condiciones de trabajo de los elementos que lo conforman.

20.1.1 Motor. Para la cotización de motor se debe tener en cuenta las siguientes características:

- Tipo de motor: motor eléctrico de corriente alterna
- Potencia: 0,5HP
- Tensión= 220Vac

20.1.2 Variador de velocidad. El variador de velocidad a utilizar es el micro master 420

20.1.3 Mesa. Los materiales necesarios para la fabricación de la mesa son:

- Angulo de hierro de 3/16" * 1 1/2"
- Tubería de hierro de 1" calibre 16.

Las dimensiones y forma de la mesa se calcularon en el proceso de diseño de la mesa. Para ver los planos de la mesa. Ver anexo B

20.1.4 Plancha. Los materiales a usar en la plancha son:

- Angulo de hierro de 3/16" * 1 1/2"
- Platina de acero de 1/4".

Las dimensiones y forma de la plancha se calcularon en el proceso de diseño de la plancha. Para ver los planos de la plancha. Ver anexo C

20.1.5 Eje de la plancha. Para realizar el eje de plancha se necesita acero AISI 1045

Las dimensiones y forma del eje se especifican en el proceso de diseño del eje de la plancha. Para ver los planos del eje. Ver anexo D

20.1.6 Resortes. Las especificaciones para fabricación del resorte son:

- Material: AISI 5160
- Diámetro del resorte: 5,3cm
- Diámetro del resorte: 0.5cm
- Numero de espiras:5
- Longitud: 10cm

Para ver los planos de los resortes. Ver anexo E

20.1.7 Biela. Las dimensiones de la biela fueron calculadas en el proceso de diseño de la biela y el material a usarse es fundición gris.
Para ver los planos de la biela. Ver anexo F

20.1.8 Rodamiento. El rodamiento a utilizar es un rodamiento de rodillos cilíndrico con dimensiones

- Diámetro externo 29mm,
- Diámetro interno 25mm
- Ancho 14mm.

20.1.9 Excéntrica. Las dimensiones de la biela fueron calculadas en el proceso de diseño de la excéntrica y el material a usarse es AISI 1045
Para ver los planos de la excéntrica. Ver anexo G

20.2 COMPONENTES DEL BANCO DE PRUEBAS Y SUS PRECIOS.

Para ver los cuadros con los componentes necesarios del banco de pruebas, sus características y precios, remitirse al anexo H.

El diseño para manufactura, es uno de los procesos de gran importancia al momento de realizar un diseño, debido a que se deben elegir componentes de fácil adquisición, con precios favorables para el cliente, pero sin descuidar la calidad del producto terminado lo cual es de vital importancia para lograr la satisfacción de los clientes.

Las cotizaciones presentadas fueron realizadas en su mayoría con proveedores directos de la empresa ANDILUM S.A, razón por la cual los precios fueron propicios y se garantiza la buena calidad de los materiales y para la fabricación de los componentes se desarrollan directamente en la empresa, con la mano de obra de sus empleados.

De este capítulo se puede concluir que el precio obtenido se encuentra en el rango esperado, por esta razón se da cumplimiento a otra de las necesidades planteadas por el cliente al momento de iniciar el proceso de diseño.

21. ANALISIS ECONOMICO- FINANCIERO

A continuación se presenta el análisis económico del proyecto el cual es de gran importancia al momento de evaluar la viabilidad de un proyecto, debido a que se obtienen datos tales como tiempo retorno de la inversión y beneficios del mismo en un tiempo determinado.

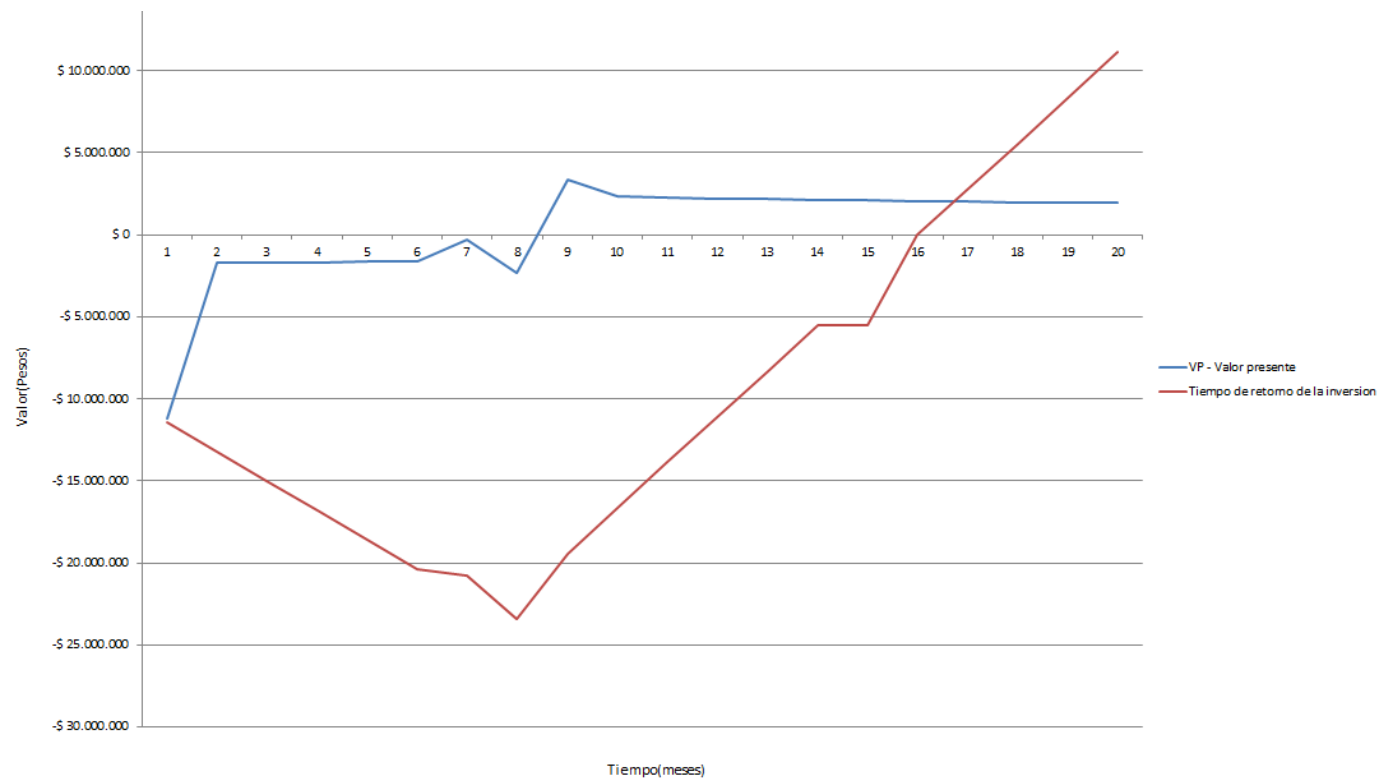
Figura 25. Análisis económico

CONCEPTO/MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
COSTO DE DESARROLLO																				
Pasante de ingeniería	\$ 300.000	\$ 300.000	\$ 300.000	\$ 300.000	\$ 300.000	\$ 300.000														
Software	\$ 7.500.000																			
Asesor Empresarial	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000														
Equipos y herramientas	\$ 2.100.000																			
Subtotal	\$ 11.400.000	\$ 1.800.000	\$ 1.800.000	\$ 1.800.000	\$ 1.800.000	\$ 1.800.000														
COSTO DE JUSTIFICACIÓN																				
Pasante de ingeniería							\$ 300.000													
Gastos varios							\$ 80.000													
Subtotal							\$ 380.000													
COSTO DE MONTAJE																				
Materiales								\$ 2.196.180												
Mano de obra								\$ 456.375												
Subtotal								\$ 2.652.555												
COSTO DE OPERACIÓN																				
Arrendamiento								\$ 150.000	\$ 150.000	\$ 150.000	\$ 150.000	\$ 150.000	\$ 150.000	\$ 150.000	\$ 150.000	\$ 150.000	\$ 150.000	\$ 150.000	\$ 150.000	\$ 150.000
Salario del operario								\$ 34.400	\$ 30.100	\$ 30.100	\$ 30.100	\$ 30.100	\$ 30.100	\$ 30.100	\$ 30.100	\$ 30.100	\$ 30.100	\$ 30.100	\$ 30.100	\$ 30.100
Mantenimiento								\$ 25.000			\$ 25.000			\$ 25.000			\$ 25.000			\$ 25.000
Subtotal								\$ 209.400	\$ 180.100	\$ 180.100	\$ 205.100	\$ 180.100	\$ 180.100	\$ 205.100	\$ 180.100	\$ 180.100	\$ 205.100	\$ 180.100	\$ 180.100	\$ 180.100
INGRESOS																				
Pruebas Internas(Ahorro)								\$ 410.000	\$ 410.000	\$ 410.000	\$ 410.000	\$ 410.000	\$ 410.000	\$ 410.000	\$ 410.000	\$ 410.000	\$ 410.000	\$ 410.000	\$ 410.000	\$ 410.000
Cantidad								8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Pruebas realizadas a Externos								\$ 350.000	\$ 350.000	\$ 350.000	\$ 350.000	\$ 350.000	\$ 350.000	\$ 350.000	\$ 350.000	\$ 350.000	\$ 350.000	\$ 350.000	\$ 350.000	\$ 350.000
Cantidad								0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Ahorro por tiempo								\$ 645.912	\$ 273.945	\$ 273.945	\$ 273.945	\$ 273.945	\$ 273.945	\$ 273.945	\$ 273.945	\$ 273.945	\$ 273.945	\$ 273.945	\$ 273.945	\$ 273.945
Ahorro por desplazamiento del auditor								\$ 275.000												
Ingresos totales								\$ 4.200.912	\$ 2.963.945	\$ 2.963.945	\$ 2.963.945	\$ 2.963.945	\$ 2.963.945	\$ 2.963.945	\$ 2.963.945	\$ 2.963.945	\$ 2.963.945	\$ 2.963.945	\$ 2.963.945	\$ 2.963.945
FLUJO NETO	-\$ 11.400.000,00	-\$ 1.800.000	-\$ 1.800.000	-\$ 1.800.000	-\$ 1.800.000	-\$ 1.800.000	-\$ 380.000	-\$ 2.652.555	\$ 3.991.512	\$ 2.783.845	\$ 2.783.845	\$ 2.758.845	\$ 2.783.845	\$ 2.783.845	\$ 2.758.845	\$ 2.783.845	\$ 2.783.845	\$ 2.758.845	\$ 2.783.845	\$ 2.783.845
Tasa de oportunidad 25%ANUAL	1,86%	1,86%	1,86%	1,86%	1,86%	1,86%	1,86%	1,86%	1,86%	1,86%	1,86%	1,86%	1,86%	1,86%	1,86%	1,86%	1,86%	1,86%	1,86%	1,86%
VP - Valor presente	-\$ 11.191.832	-\$ 1.734.863	-\$ 1.703.184	-\$ 1.672.083	-\$ 1.641.550	-\$ 1.611.575	-\$ 334.009	-\$ 2.288.943	\$ 3.381.461	\$ 2.315.306	\$ 2.273.027	\$ 2.211.481	\$ 2.190.773	\$ 2.150.768	\$ 2.092.533	\$ 2.072.938	\$ 2.035.085	\$ 1.979.982	\$ 1.961.441	\$ 1.925.625
VALOR PRESENTE NETO	\$ 4.412.381																			
TIR	3,54%	Annual 32,76%																		
PRI	\$ 2.779.717,00		Primera semana Mes 17																	

Después de realizar el análisis económico en un periodo de 20 meses, se obtiene que es un proyecto viable puesto que se obtuvo un valor positivo del VPN, es decir se maximizara la inversión y la TIR resulta mayor a la tasa de oportunidad estimada, de lo cual se concluye que se estima un rendimiento mayor al mínimo requerido, teniendo un retorno de la inversión en la segunda semana del mes 16 desde el inicio del proyecto.

En la figura 26 se muestra gráficamente el comportamiento del valor presente neto a medida que transcurren los meses y se demuestra que el tiempo de retorno de la inversión será en la segunda semana del mes 16 desde iniciado el proyecto.

Figura 26. Grafico del análisis financiero



22.RESULTADOS OBTENIDOS

- Se obtuvo un diseño de un banco pruebas para realizarle pruebas de vibración a luminarias, cumpliendo con los parámetros exigidos por la normatividad.
- En el mercado actual se le realizan pruebas de resistencia a vibraciones a diferentes tipos de productos, pero el mercado para el cual va dirigido este proyecto son las empresas fabricantes de luminarias, las cuales requieren certificar sus productos y los entes certificadores que también prestan el servicio de laboratorio.
- En la etapa de investigación realizada, se obtuvieron los parámetros a cumplir de la norma NTC2230 numeral 4.20, los cuales fueron fundamentales al momento de realizar el diseño del banco de pruebas debido a que fueron la referencia para iniciar las etapas de diseño.
- Las principales necesidades del proyecto son la capacidad de instalar diferentes tipos de luminarias, el cumplimiento de los parámetros, la ergonomía, la fácil operación y el bajo nivel de ruido.
- De acuerdo a la competencia, el banco de pruebas logra competir con los productos existentes, debido a que en el proceso de diseño se tuvo en cuenta las necesidades principales de los equipos competidores dando conformidad a cada una de ellas.
- De los conceptos generados para el diseño, se evaluó la capacidad de cada concepto de cumplir con las necesidades planteadas generando así un concepto que consta de:

CUADRO 9. Concepto seleccionado

FUNCIÓN	COMPONENTE
convertir energía eléctrica en mecánica	Motor corriente alterna
controlar frecuencia	variador de velocidad
CUADRO 9. CONTINUACION	
convertir movimiento circular en lineal	biela y excéntrica
transmisión de movimiento	resortes

- El banco pruebas de vibraciones final consta de:

CUADRO 10. Componentes del banco de pruebas.

ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA	RED ELÉCTRICA	220Vac-60Hz
MOVIMIENTO CIRCULAR	MOTOR	Siemens 0,50HP
MOVIMIENTO LINEAL	BIELA, RODAMIENTO Y EXCÉNTRICA	Diseño biela, rodamiento y excéntrica
AMORTIGUAR MOVIMIENTO	RESORTES	Diseño del resorte
VARIAR FRECUENCIA	VARIADOR DE VELOCIDAD	Micro master 420
GEOMETRÍA DEL BANCO	MESA Y PLANCHA	Diseño mesa y plancha

- Las especificaciones tenidas en cuenta en el proceso de diseño son:

Cuadro 11. Especificaciones para el diseño

ESPECIFICACIONES	VALOR	UNIDAD
FRECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO	10-55-10	Hertz
AMPLITUD	0,35	Milímetros
RATA DE BARRIDO	1/8	
DURACIÓN DE LA PRUEBA	30	Minutos
LARGO LUMINARIA 70w	0,483	Metros
LARGO LUMINARIA 150w	0,654	Metros
LARGO LUMINARIA 250w	0,654	Metros
LARGO LUMINARIA 400w	0,857	Metros

- Teniendo en cuenta las especificaciones del diseño, se realizó todas las etapas de diseño para encontrar las medidas y la geometría del banco obteniendo como resultado:

Cuadro 12. Dimensiones del banco de pruebas.

COMPONENTE	ALTO	ANCHO	LARGO	MATERIAL
MESA	1.10mt	0.74mt	0.97mt	-Angulo de hierro de 3/16" * 1 1/2" -Tubería de hierro de 1" calibre 16.
PLANCHA	0.05mt	0.72mt	1mt	Angulo de hierro de 3/16" * 1 1/2" - Platina de acero de 1/4".

- A pesar de no haberse contemplado en el cronograma del proyecto, por convenio con la empresa ANDILUM S.A. y la disponibilidad de tiempo se logró realizar la implementación del banco de pruebas y ensayos de vibración, para poder realizar la prueba de resistencia a las vibraciones en el proceso de certificación de producto realizado en enero del presente año en el laboratorio de ANDILUM S.A.

Figura 27. Banco de pruebas y ensayos de vibración, escala real



Figura 28. Banco de pruebas y ensayos de vibración, vista frontal



Figura 29. Banco de pruebas y ensayos de vibración, sistema mecánico



- El banco de pruebas y ensayos de vibración para luminarias, fue evaluado por el auditor de Icontec para realizar la prueba de resistencia a las vibraciones y la calificación fue del 100% resultando competente para realizar el ensayo. Para ver informe de Icontec remitirse al anexo H.

23. CONCLUSIONES

- Se realizó un estudio detallado de las necesidades y requerimientos que tiene la empresa ANDILUM S.A. para el desarrollo del banco para pruebas de vibración, y se logró concluir que la capacidad de instalar diferentes tipos de luminarias, el cumplimiento de los parámetros, la ergonomía, la fácil operación y el bajo nivel de ruido, son las necesidades más importantes a tener en cuenta durante el desarrollo del proyecto.
- Al momento de analizar las diferentes alternativas de diseño, fue de gran importancia los parámetros establecidos por la norma y el nivel de ruido, fueron determinantes para seleccionar al concepto apropiado.
- Por medio de las dimensiones de las luminarias, los parámetros de la norma y las herramientas matemáticas, se obtuvo las medidas exactas y las especificaciones de cada uno de los elementos para obtener los mejores resultados al momento de realizar la prueba.
- Al momento de desarrollar un producto o sistema, el prototipado es la mejor herramienta para obtener una visión clara del funcionamiento aproximado del diseño final, el prototipo físico parcial realizado por medio de modelado 3D en la computadora fue el desarrollado en este proyecto, y se logró entender con ayuda de este, el funcionamiento del banco de pruebas y entregarle al cliente una apariencia física muy próxima a la realidad.
- Una de las necesidades del cliente era el fácil mantenimiento o limpieza del banco de pruebas, lo cual se logró por medio de una arquitectura modular, la cual está basada en la unión de diferentes módulos o sistemas que al acoplarse dan paso al sistema completo del banco de pruebas.

- Teniendo en cuenta las etapas del diseño para el desarrollo de proyectos mecatrónicos, se obtuvo el resultado esperado en el diseño del banco de pruebas y ensayos de vibración para la empresa ANDILUM S.A.
- Desarrollando de forma correcta todas las etapas de diseño y simulación del prototipo, el funcionamiento al realizar la implementación deber ser muy semejante a la simulación realizada lo que convierte el diseño mecatronico en un proceso de mucha importancia al momento de realizar proyectos.

BIBLIOGRAFÍA

BARAJAS, Oscar Mauricio. Vibraciones mecánicas- modelamiento matemático. Consultado en Septiembre 6 de 2011. Disponible en internet:

http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/vibracionesmecanicas/default2.asp

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA, Universidad de los Andes. Ensayos de Vibraciones y humedad controlada en dos luminarias. Proyecto de investigación. Bogotá 2001. Consultado en agosto 30 de 2011 Disponible en internet:

http://mecanica.uniandes.edu.co/web/?seccion=95&ver=692&lenguaje=es&imec_session=52eca9d257d8982c46809b0ea65964a4

FAIRES, V. M.: Problemas de Diseño de elementos de máquinas. Editorial: Montaner y Simón. Segunda edición. 1971

SIEMENS REGIÓN AUSTRAL-ANDINA. Variadores de velocidad, [En línea]. Consultado en noviembre 3 de 2011 Disponible en internet:

<http://www.siemens.com.co/siemensdotnetclient_andina/templates/PortalRender.aspx?channel=76>

Pruebas de vibraciones. Máquinas para ensayos de vibración. Consultado en septiembre 8 de 2011. Disponible en internet:

<http://www.vibration-tester-b2b.com/es/electrodynamic-type-vibration-tester.html>

SHIGLEY, Joseph Edward; MITCHELL, Larry: Diseño en ingeniería mecánica. Editorial McGraw-Hill. Quinta edición.1994

BALACHANDRAN, Balakumar: Vibraciones. Editorial International Thomson Editores. Primera Edición.2006

FRENCH, A.P: Vibraciones y Ondas. Editorial Reverte. Primera Edición. 1978.

BEATY H,Wayne: Manual del motor Eléctrico. Editorial McGraw-Hill. Primera Edición. 2000.

PAREDES B., Edgar.: Puesta en funcionamiento y creación e interfaz gráfica para bancos de ensayo de medición de vibraciones mecánicas. Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ingenieria.2008

PERDONO C., Andrés: Diseño de un banco de pruebas para la generación de vibraciones controladas en sillas de automóviles para la detección de ruidos parásitos. Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ingeniería. 2008

Icontec: Norma Técnica Colombiana NTC 2230. Segunda Actualización. 1999

Ministerios de minas y energía. Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público RETILAP. Resolución 180540.

ANEXOS

Anexo A. Manual de usuario

ANDILUM S.A.
Santiago de Cali
2012

Apreciado Usuario:

A continuación se presenta el manual de operación del banco de pruebas y ensayos de vibración para obtener el resultado de la prueba de exposiciones a vibraciones severas según la norma NTC 2230 numeral 4.20. El banco está en capacidad de operar de forma continua durante las 8 horas de trabajo diario que se maneja en su horario laboral y se puede realizar la prueba a los diferentes tipos de luminarias para alumbrado público existentes en el mercado y su catálogo de productos.

El manual es de fácil entendimiento y comprensión, sin embargo se requiere tener algunos conocimientos básicos sobre los parámetros de la norma, la instalación de luminarias y conceptos eléctricos.

Cualquier información adicional que se requiera para su instalación u operación, se le contestará con la mayor brevedad posible.

MANUAL DE OPERACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS Y ENSAYOS DE VIBRACIÓN PARA LUMINARIAS

1. DESCRIPCIÓN GENERAL:

El banco de pruebas está compuesto de los siguientes elementos:

- Mesa, la cual está encargada de soportar toda la estructura y el motor eléctrico.
- Resortes, son los encargados de amortiguar la plancha evitando así el movimiento de toda la estructura.
- Plancha, es la encargada de recibir el movimiento entregado por el sistema mecánico y transmitírselo al brazo de la luminaria.
- Sistema mecánico, se compone de la excéntrica, biela y rodamiento y se encargara de convertir el movimiento circular entregado por el motor a movimiento lineal generador de la vibración.
- Variador de velocidad, cumple la función de recibir la energía eléctrica y entregársela al motor con la frecuencia de giro necesaria.
- Motor eléctrico, se encarga de recibir la energía eléctrica y convertirla en movimiento circular.

Al acoplarse todos estos elementos se da paso al banco de pruebas y ensayos para luminarias.

2. INSTALACIÓN DE LOS COMPONENTES

2.1 VARIADOR DE VELOCIDAD

Los datos para la instalación eléctrica son:

1 AC 200 V – 240 V

Referencia 6SE6420-	2AB 2UC	11- 2AA1	12- 5AA1	13- 7AA1	15- 5AA1	17- 5AA1	21- 1BA1	21- 5BA1	22- 2BA1	23- 0CA1
Tamaño constructivo		A					B		C	
Potencia nominal	kW hp	0,12 0,16	0,25 0,33	0,37 0,5	0,55 0,75	0,75 1,0	1,1 1,5	1,5 2,0	2,2 3,0	3,0 4,0
Corriente de entrada	A	1,8	3,2	4,6	6,2	8,2	11,0	14,4	20,2	35,5
Corriente de salida	A	0,9	1,7	2,3	3,0	3,9	5,5	7,4	10,4	13,6
Fusible recomendado	A 3NA	10 3803	10 3803	10 3803	10 3803	16 3805	20 3807	20 3807	32 3812	40 3817
Cable de entrada	mm ² AWG	1,0-2,5 17-13	1,0-2,5 17-13	1,0-2,5 17-13	1,0-2,5 17-13	1,0-2,5 17-13	2,5-6,0 13-9	2,5-6,0 13-9	4,0-6,0 11-9	6,0-10 9-7
Cable de salida	mm ² AWG	1,0-2,5 17-13	1,0-2,5 17-13	1,0-2,5 17-13	1,0-2,5 17-13	1,0-2,5 17-13	1,0-6,0 17-9	1,0-6,0 17-9	1,0-6,0 17-9	1,5-10 15-7
Par de apriete	Nm (lbf.in)	1,1 (10)					1,5 (13.3)		2,25 (20)	

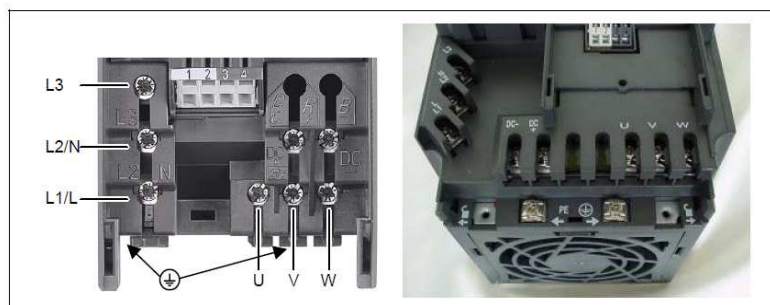
2.2 CONEXIONES MOTOR ELÉCTRICO Y VARIADOR DE VELOCIDAD.

Figura 2. Alimentación eléctrica variador de velocidad

Retirando las tapas se accede a los bornes de red y del motor



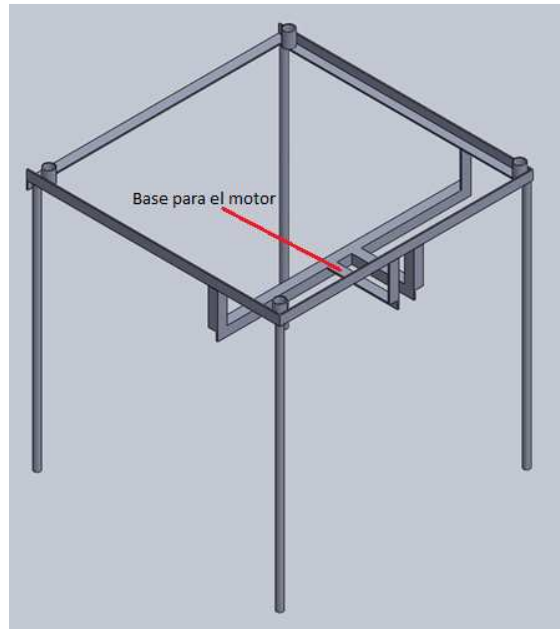
Figura 3. Alimentación eléctrica motor eléctrico.



2.1 INSTALACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL BANCO

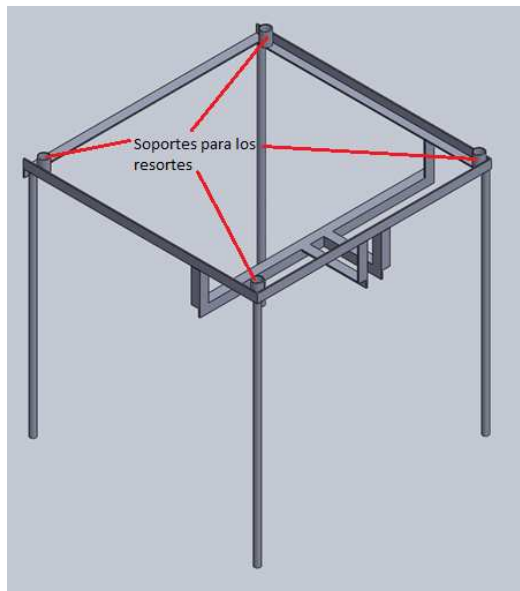
- Ubique la mesa en un lugar plano y con acceso a un punto eléctrico 220Vac-60Hz.
- Instale el motor en la base mostrada en la figura 3-

Figura 3



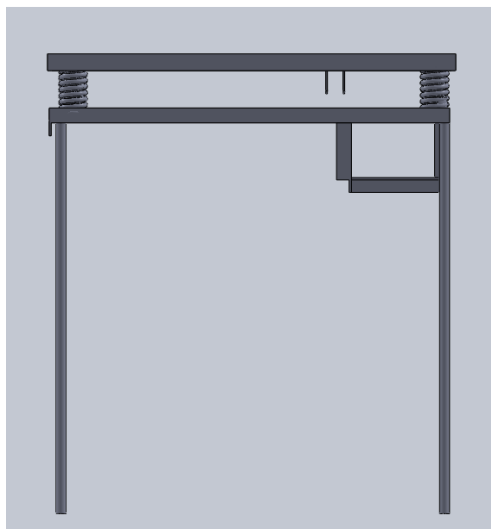
-Ubique los resortes en soportes que se encuentran en los vértices de la mesa como lo indica la figura 4.

Figura 4



-Sitúe la plancha sobre los resortes como lo muestra la figura 5.

Figura 5



-Instale la excéntrica en el eje del motor y ajuste los dos tornillos prisioneros que posee la excéntrica, debe tener en cuenta ubicar la cuña del motor en el cuñero existente en la excéntrica.

-Ubique el rodamiento dentro de la cabeza de la biela y todo el conjunto instálelo en la excéntrica instalada anteriormente, luego atornille la tapa de la excéntrica para evitar el movimiento horizontal del sistema mecánico.

-Ubique de forma concéntrica el pie de la biela con las bridas existentes en la plancha e inserte el eje de la plancha y atornille los dos tornillos prisioneros para sujetarlo.












-Instale el variador de velocidad a 0,40 mt de separación del banco pruebas, a una altura de 1,20 mt sobre una superficie plana vertical o pared cercana, donde se tenga acceso al punto eléctrico.

-Ubique el brazo de la luminaria necesario sobre la plancha, insertando 4 tornillos en los agujeros existentes y apriete.

2.3 CONFIGURACIÓN DEL VARIADOR DE VELOCIDAD

Para modificar los parámetros es conectar el variador a la red eléctrica y tener instalado el panel BOP del variador de velocidad micro master 420 y realizar el proceso mostrado en la figura 6

Figura 6. Modificación de parámetros

Paso	Resultado en pantalla
1 Pulsar  para acceder a parámetros	
2 Pulsar  hasta que se visualice P0003	
3 Pulsar  para acceder al nivel de valor del parámetro	
4 Pulsar  o  hasta el valor requerido	
5 Pulsar  para confirmar y guardar el valor	
6 El nivel de acceso 3 está ajustado. Se pueden seleccionar todos los parámetros de los niveles 1 a 3.	

Siguiendo el proceso mostrado en la figura 6 se deben modificar los parámetros mostrados a continuación e ingresar los siguientes valores:

P1091=10 Hz

P1091=55 Hz

P1091=55 Hz

P1091=10 Hz

P1120=480 s

P1121=480 s

P1130=5 s

P1131=5 s

P1132=5 s

P1133=5 s

P1134=0

3 PUESTA EN MARCHA DEL BANCO DE PRUEBAS Y ENSAYOS DE VIBRACIÓN

Luego de tener instalado en el lugar adecuado cada uno de los componentes y haber configurado los parámetros en el variador de velocidad se debe conectar el variador de velocidad en el punto eléctrico y presionar el botón verde mostrado en la figura 7.

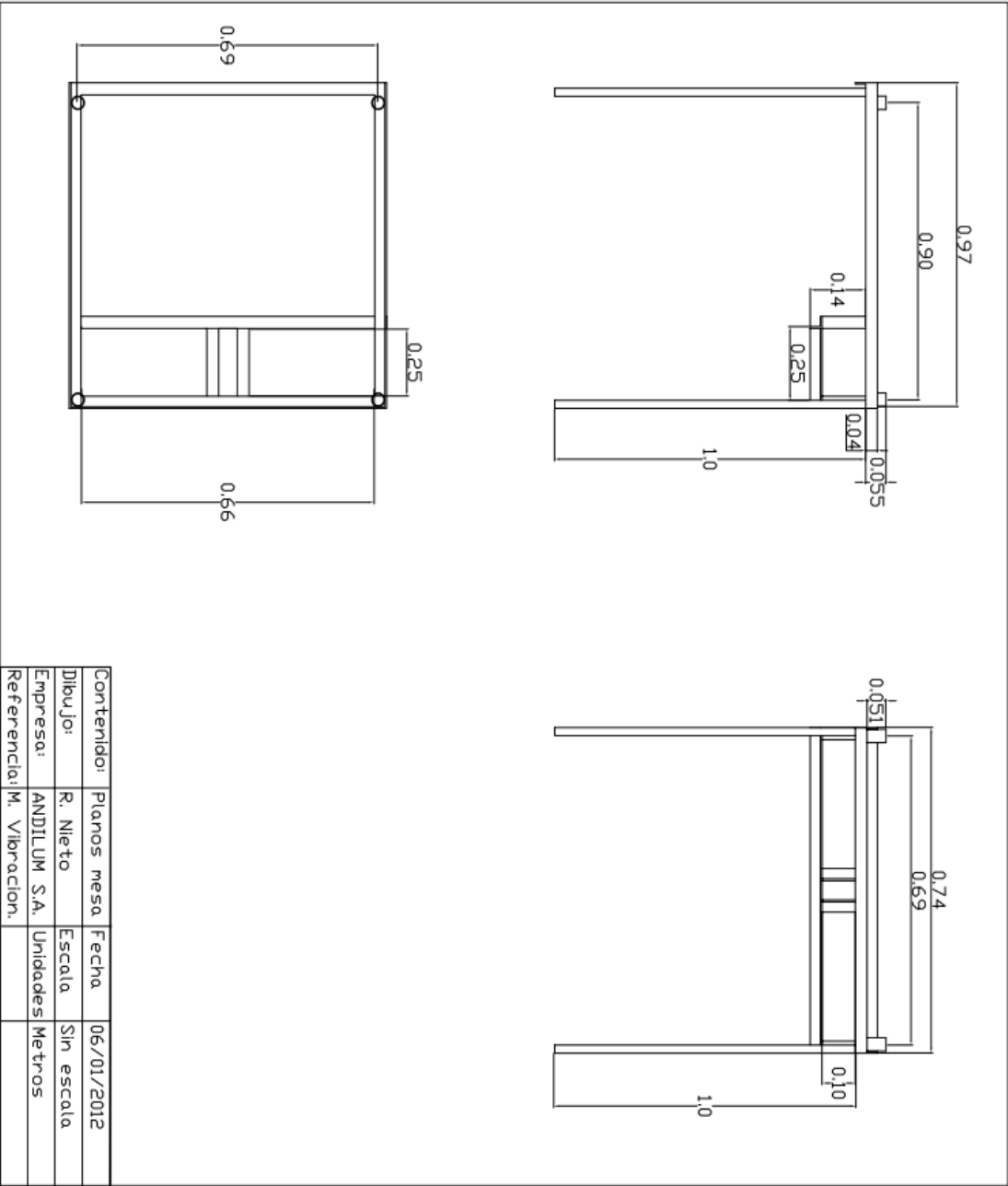
Figura 7



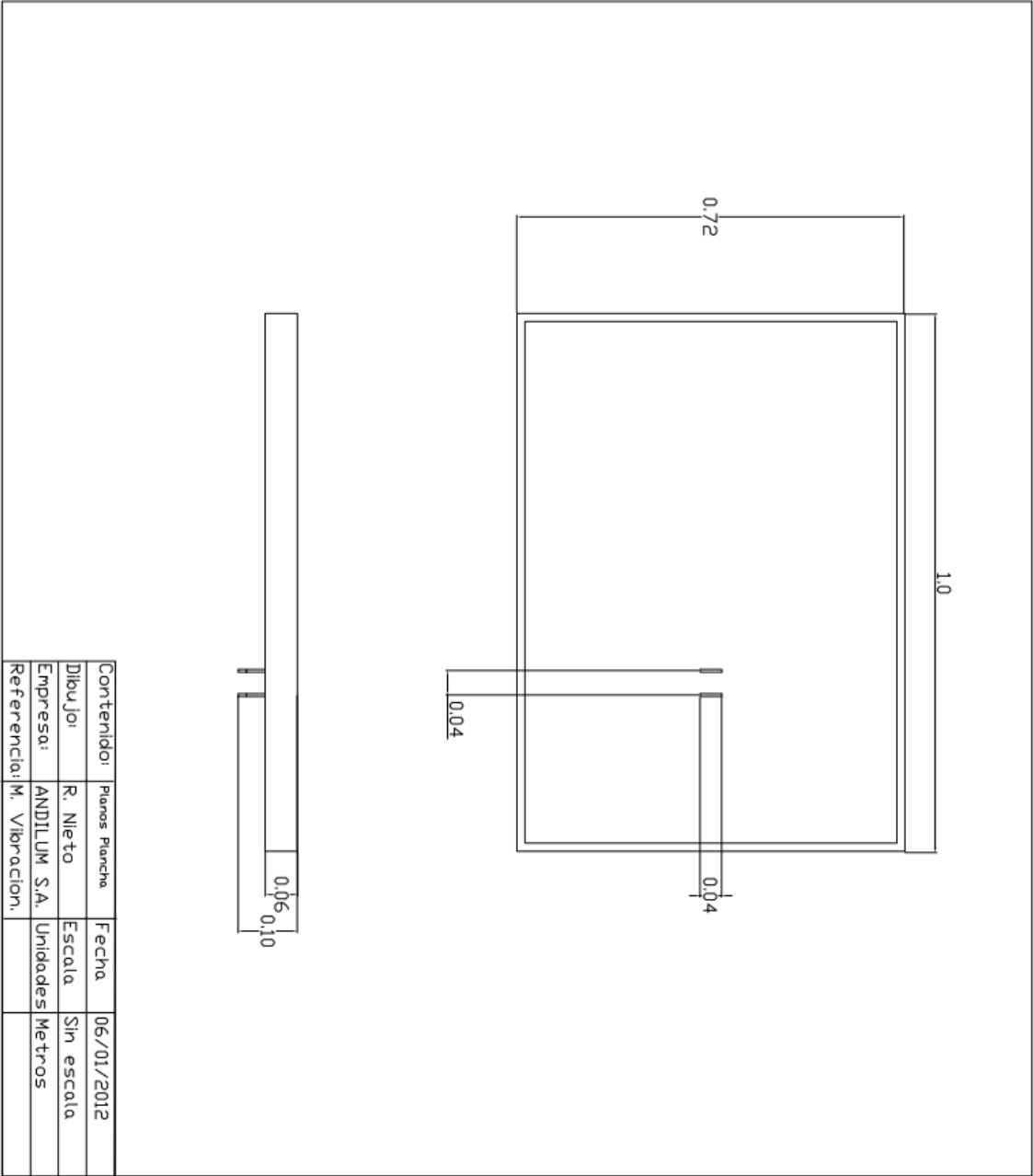
Al presionar este botón el banco de pruebas iniciara automáticamente la prueba de resistencia a la vibraciones para luminarias, el sistema aumenta la frecuencia de vibración con una rata de barrido de 1/8 por minuto, variando la frecuencia entre 10Hz-55Hz-10Hz. Al llegar a la máxima frecuencia se mantendrá el movimiento durante 14 minutos, al cumplir este tiempo comenzara el proceso de desaceleración hasta finalizar el movimiento, el tiempo de duración de la prueba será de 30 minutos.

En caso de falla o necesitar interrumpir la prueba, presione el botón rojo que se muestra en la figura 7.

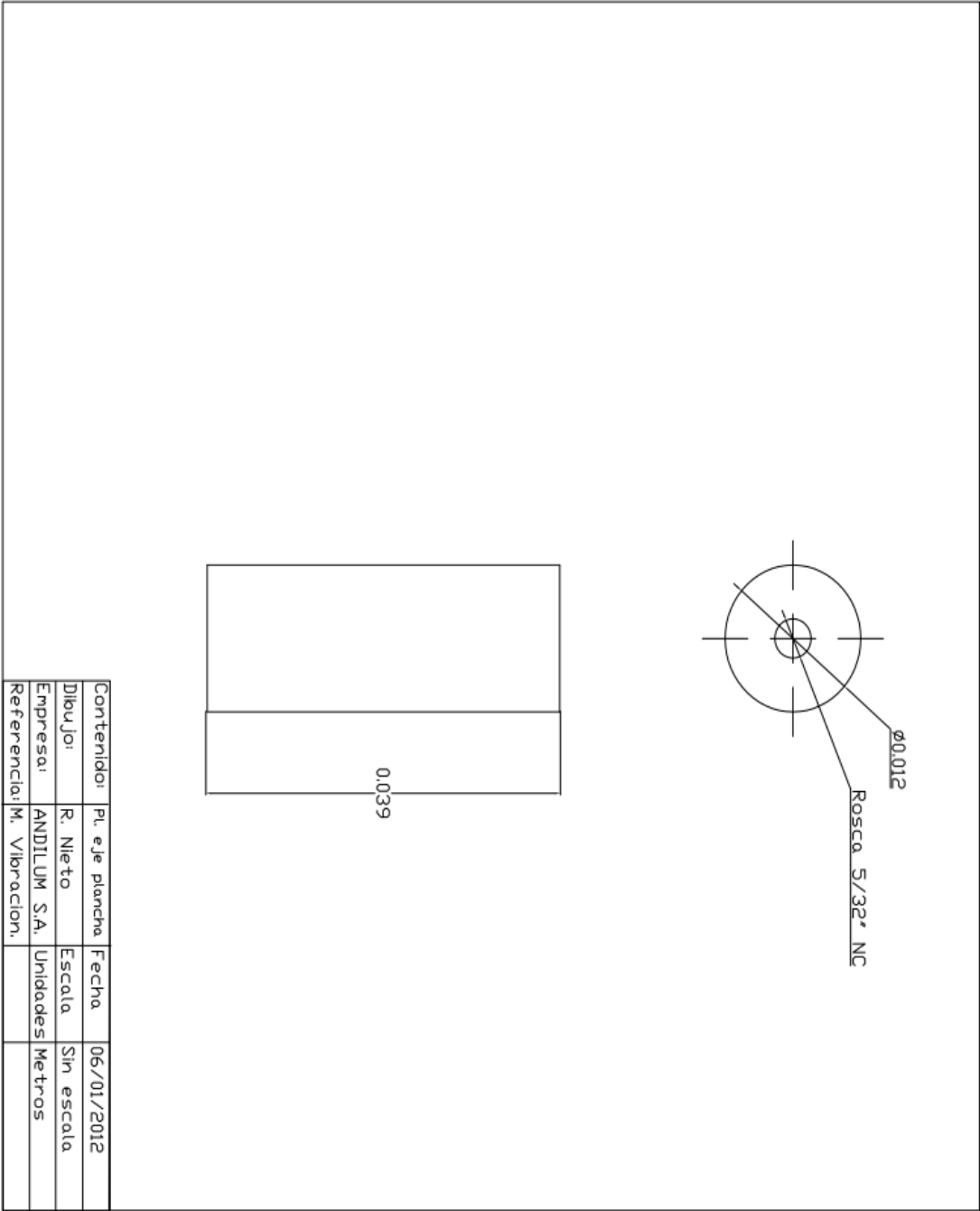
ANEXO B. PLANOS MESA



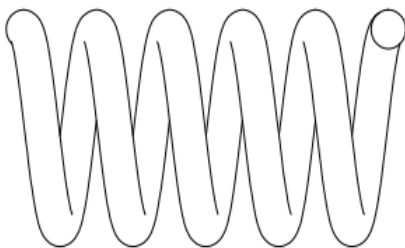
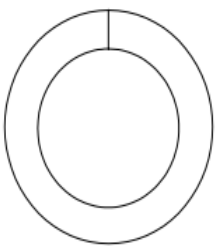
ANEXO C. PLANOS PLANCHA



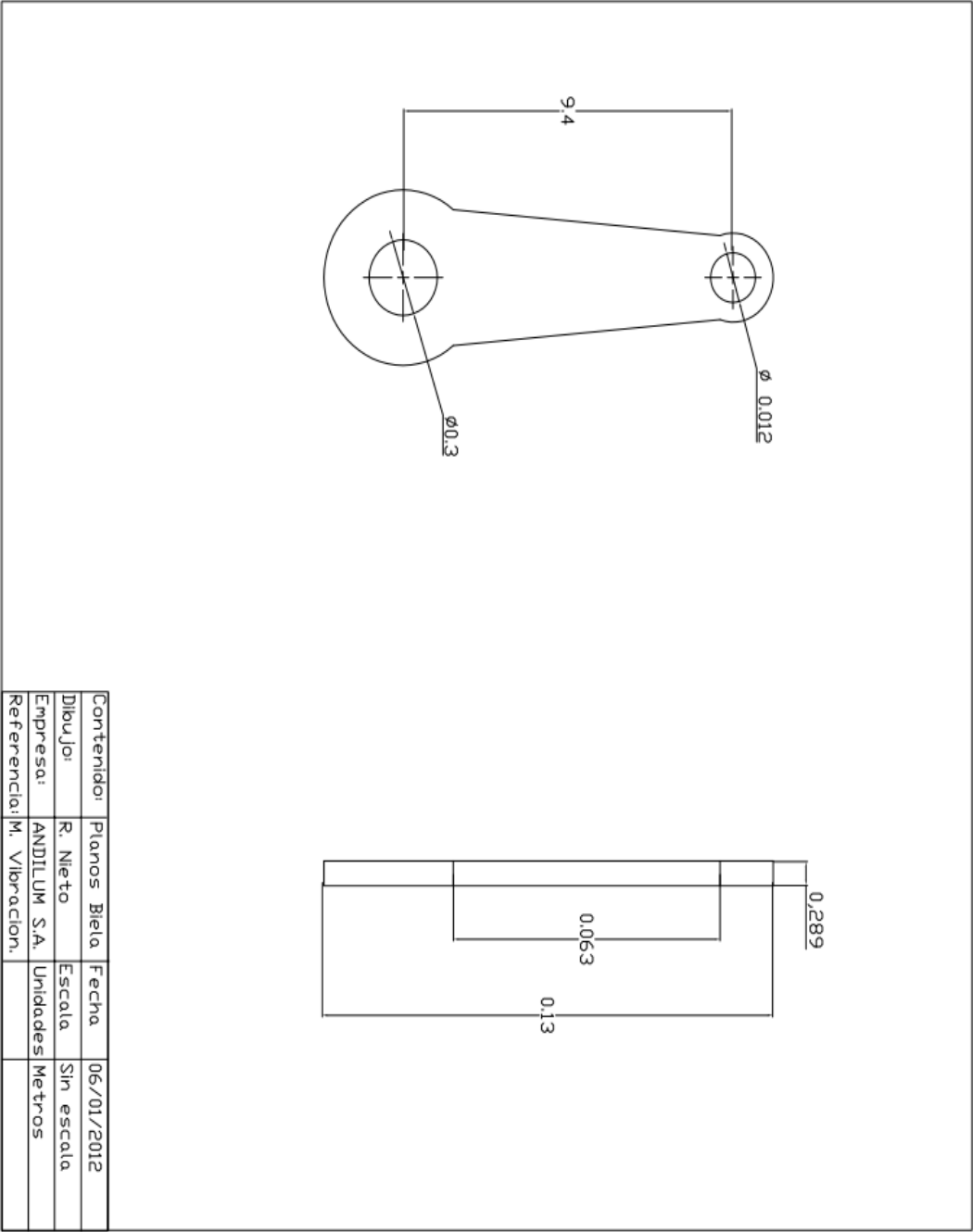
ANEXO D. PLANOS EJE DE LA PLANCHA



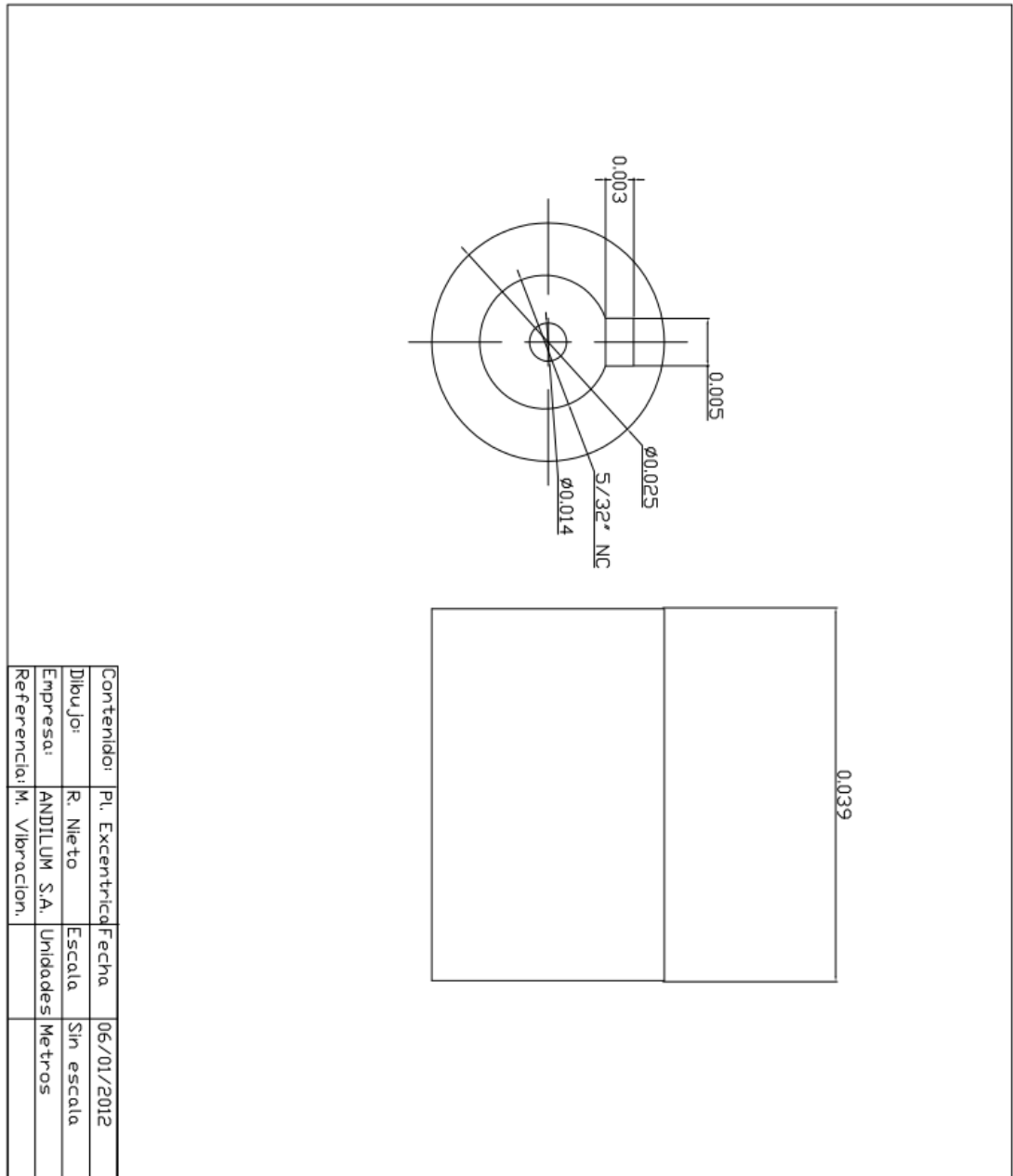
ANEXO E. PLANOS RESORTES

																													
<table border="1"> <tr> <td>Contenido:</td> <td>Planos Resorte</td> <td>Fecha</td> <td>06/01/2012</td> </tr> <tr> <td>Dibujó:</td> <td>R. Nieto</td> <td>Escala</td> <td>Sin escala</td> </tr> <tr> <td>Empresa:</td> <td>ANDILUM S.A.</td> <td>Unidades</td> <td>Metros</td> </tr> <tr> <td>Referencia:</td> <td>M. Vibración.</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		Contenido:	Planos Resorte	Fecha	06/01/2012	Dibujó:	R. Nieto	Escala	Sin escala	Empresa:	ANDILUM S.A.	Unidades	Metros	Referencia:	M. Vibración.			<table border="1"> <tr> <td>Material</td> <td>AISI 5160</td> </tr> <tr> <td>Diámetro del resorte</td> <td>0.053</td> </tr> <tr> <td>Diámetro de la espira</td> <td>0.005</td> </tr> <tr> <td>Numero de espiras</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Longitud</td> <td>0.10</td> </tr> </table>		Material	AISI 5160	Diámetro del resorte	0.053	Diámetro de la espira	0.005	Numero de espiras	5	Longitud	0.10
Contenido:	Planos Resorte	Fecha	06/01/2012																										
Dibujó:	R. Nieto	Escala	Sin escala																										
Empresa:	ANDILUM S.A.	Unidades	Metros																										
Referencia:	M. Vibración.																												
Material	AISI 5160																												
Diámetro del resorte	0.053																												
Diámetro de la espira	0.005																												
Numero de espiras	5																												
Longitud	0.10																												

ANEXO F. PLANOS BIELA



ANEXO G. PLANOS EXCENTRICA



ANEXO H. TABLA DE PRECIOS

COMPONENTE	MATERIAL	DIMENSION	CANTIDAD	CARACTERISTICAS	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Motor eléctrico	N.A.	N.A.	1	Motor eléctrico 0,5HP marca siemens	374,700	374,700
Variador de velocidad	N.A.	N.A.	1	Micro master 420 marca siemens	1.003.800	1.003.800
Mesa y plancha	Angulo de hierro, tubería de hierro y platina de acero	Dimensiones según plano	2 2 1	N.A.	39.700 14.772 193.950	263.194
Eje de la plancha	AISI 1045	Dimensiones según plano	1	N.A.		178.000
Resortes	AISI 5160	Dimensiones según plano	4	N.A.	6.300	37.800
Excéntrica	AISI 1045	Dimensiones según plano	1	N.A.		263.000
Kit Rodamiento y biela	N.A.	Dimensiones según plano	1	N.A.	25.686	25.686
Otros	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	50.000	50.000
					Total	2.196.180

ANEXO I. INFORME ICONTEC EVALUACION DEL LABORATORIO ANDILUM S.A.-RESISTENCIA A LAS VIBRACIONES



CERTIFICACIÓN DE PRODUCTO. INFORME DE AUDITORIA

Página 5 de 22

3.2.3 Relación de referencias de producto evaluadas y toma de muestras

Ver Anexo 3.

3.2.4 Relación de equipos utilizados en la evaluación de productos

Ver Anexo 4.

3.2.5 Conformidad del sistema de gestión de calidad y del producto

Número de no conformidades detectadas en esta auditoria		Sistema	Producto	Total
	Mayores	0	1	1
	Menores	0		0

Ver Anexo 5.

3.2.6 Resultados de ensayos

Ver Anexo 7.

3.2.7 Informes de ensayos

Ver Anexo 8.

3.3 EVALUACIÓN DE LABORATORIOS DE ENSAYOS

3.3.1 Laboratorios de la organización

Para la ejecución de estos ensayos se utilizó el Laboratorio de ensayos de ANDILUM, el cual fue evaluado conforme a lo establecido en el procedimiento ES-P-PD-004 obteniendo una calificación final de 100 %, dando como conclusión que el laboratorio es competente para la ejecución de los ensayos de certificación.

3.3.2 laboratorios de Terceros evaluados por ICONTEC

No Aplica

3.3.3 Conformidad de los laboratorios de ensayos

Número de no conformidades detectadas		Organización	Terceros
	Críticas	0	0
	No críticas	0	0

4. OBSERVACIONES AUDITORÍA

- ✓ La empresa ANDILUM posee una infraestructura adecuada del laboratorio para la realización del seguimiento y medición del producto.
- ✓ Se cuenta con personal técnico competente en planta de fabricación y en los laboratorios de ensayo.
- ✓ El sólido SGC de la organización, garantiza un mantenimiento adecuado de los procesos de fabricación de los productos.
- ✓ La empresa cuenta con un adecuado manejo del almacenamiento de sus productos, lo que permite su preservación y cuidado antes de ser entregado a sus clientes.
- ✓ Es importante que la empresa empiece a planear la forma de aplicación del rotulado sobre los productos, con la marca de conformidad según lo descrito en el manual de imagen M-PD-01, una vez se les otorgue la certificación Sello ICONTEC con Reglamento Técnico.



CERTIFICACIÓN DE PRODUCTO
INFORME DE AUDITORIA

REQUISITOS				MÉTODO DE ENSAYO				TIPO DE ENSAYO		LABORATORIO		TIPO DE ENSAYO	
Numeral	Requisito	Numeral	Método de ensayo	Referencial	Versión	Año	R ¹⁾	T ²⁾	NOMBRE	ESTADO		Página del informe	Conclusión
										A ³⁾	E ⁴⁾		
320.4	Marcación	320.4	Inspección	RETILAP		2010	X		ANDILUM		X	3	CUMPLE
320.4.b	Esesor de revestimiento anodizado	320.4.b	Esesor y continuidad	RETILAP		2010	X		ANDILUM		X	3	CUMPLE
320.4.e	Protección ultravioleta	320.4.e	Resistencia a la luz solar	RETILAP		2010		X	NO APLICA			NO APLICA	NO APLICA
320.4.f	Resistencia de aislamiento y rigidez estructural	10	Resistencia de aislamiento y rigidez estructural	NTC-2230	Segunda	1999	X		ANDILUM		X	11	CUMPLE
320.4.i	Vibración y adherencia de pintura	4.20	Resistencia a las vibraciones	NTC-2230	Segunda	1999	X		ANDILUM		X	12	CUMPLE
320.4.j	Ensayos de balastos	320.4.j	Ensayos de balastos	RETILAP		2010		X	ELECTROCONTROL-INADISA-PHILLIPS		X	ANEXO D	CUMPLE
320.5.e	Resistencia a la corrosión y espesor de lamina	320.5.e	Inspección	RETILAP		2010	X		ANDILUM		X	3	CUMPLE